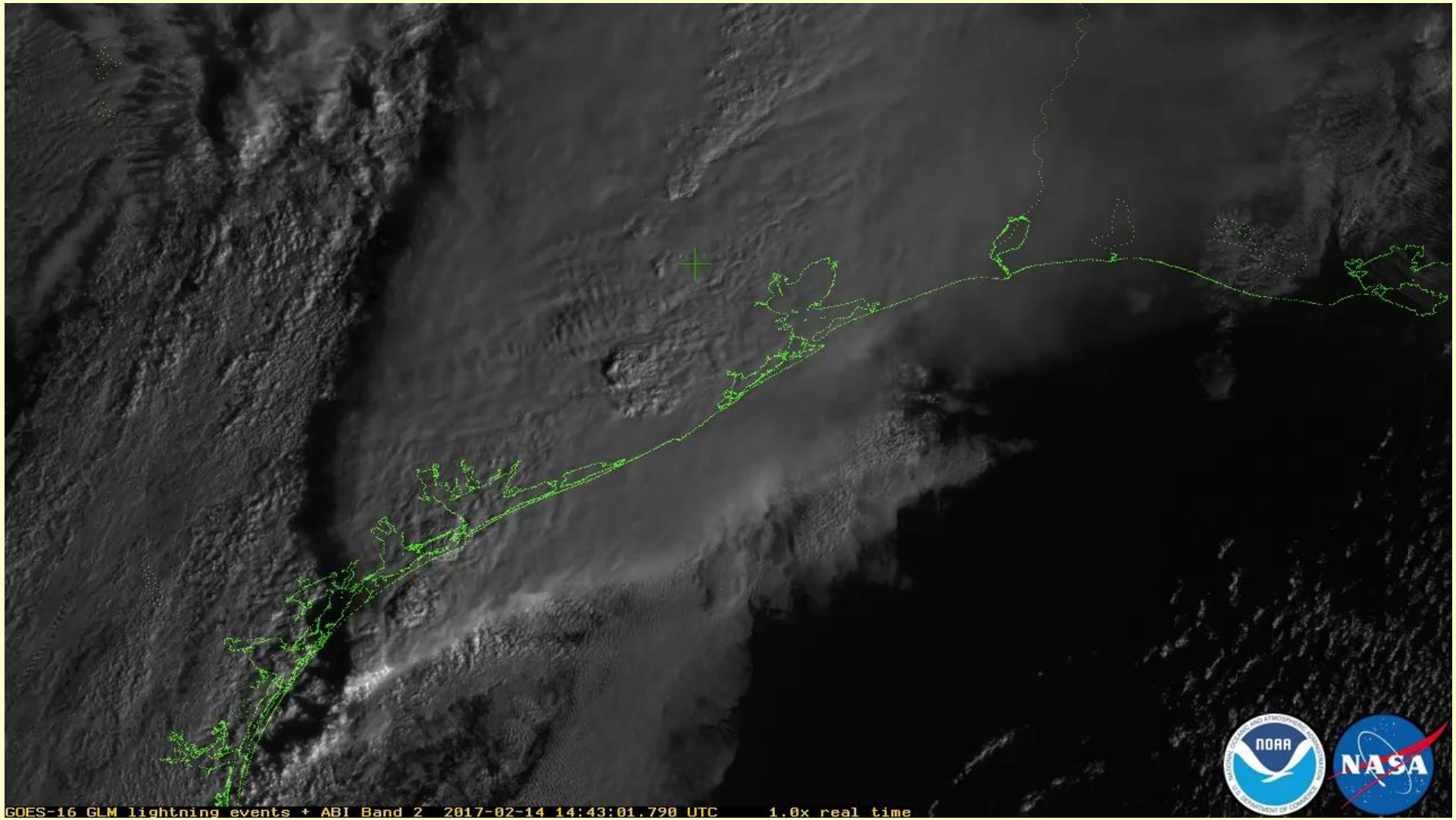
A műhold-meteorológia jelene és jövője

Kattints a képre!



Putsay Mária, Országos Meteorológiai Szolgálat

MMT Távérzékelési Szakosztály ülés, 2019. május 2.

Tibor - műhold-meteorológia úttörője az OMSZ-on belül.

Teljesség igénye nélkül – jelen/jövő egy szelete

Vázlat

Bevezetés

EUMETSAT jövőbeli műholdjai

- MTG - Harmadik Generációs Meteosat – (geoszinkron műhold család)
- EPS-NG Második Generációs Poláris holdak - (napszinkron műhold család)
- Copernicus (ESA EUMETSAT együttműködés)

ESA Aeolus

NASA GPM

Összefoglaló

Bevezetés

Sok meteorológiai műhold, műszer, adat, produktum

Fő irányvonalak, műszer típusok

- ‚Hagyományos' típusú mérések
  - Területi és időbeli felbontás növelése
  - Több spektrális sávban
  - Kisebb mérési hiba
  - Keskenyebb sávokban
- Új típusú mérések –
  - Szondázás multi-spektrális → hiper-spektrális szondázó
  - több aktív műszer

Származtatás

- Jobb származtatási módszerek
- Még több és megbízhatóbb produktum

Nagy lépés, amikor a technikai fejlődés lehetővé teszi, hogy egy jó időbeli felbontást igénylő mérés átkerülhessen poláris műholdról geoszinkron műholdra

- Profilok, csapadék, levegőkémia – jó időbeli felbontással (NWP asszimilálás, NWC, kémiai modellek)
- Szondázás (IASI) – MTG IRS - most már tudnak geoszinkron pálya távolságából is mérni keskeny IR sávokban – hőmérséklet nedvesség profilok nyomgázok mennyisége
- Terv – Mikrohullámú mérés geoszinkron pályáról – direkt csapadék monitoring ….

Harmadik Generációs Meteosat MTG

A Harmadik Generációs METEOSAT (MTG) műholdak

Iker műhold: MTG-I + MTG-S

4 db MTG-I : FCI + LI - 20 év operatív működés (fellövés: 2021-2022) (rapid scan – 2025)
2 db MTG-S : IRS + UVN - 15.5 év operatív működés (fellövés:2023)

FCI **Flexible Combined Imager,** leképező berendezés

LI **Lightning Imager,** villám leképezés (GOES geoszinkron holdon van először, 2016-tól)

IRS **Infrared Sounding mission,** infravörös szondázó berendezés (geoszinkron holdon új)

UVN **UV-VIS Sounding (UVS) mission** Ultraibolya, látható és közeli infravörös tartományú szondázó (geoszinkron holdon új)

MSG SEVIRI			MTG FCI		
	15 perces félteke	Rapid scan 5 perces 1/3 félteke		10 perces félteke	Rapid scan 2.5 perces 1/4 félteke
HRV (0.6)	1 km	1 km			
			VIS0.4	1 km	(1 km)
			VIS0.5		
VIS0.6	3 km	3 km	**VIS0.6**		**0.5 km**
VIS0.8			VIS0.8		(1 km)
			NIR0.9		
			NIR1.3		
NIR1.6			NIR1.6		
			NIR2.2		**0.5 km**
IR3.9			**IR3.8**	2 km	**1 km**
IR6.2			IR6.3		(2 km)
IR7.3			IR7.3		
IR8.7			IR8.7		
IR9.7			IR9.7		
IR10.8			**IR10.5**		**1 km**
IR12.0			IR12.3		(2 km)
IR13.4			IR13.3		

Leképező berendezés

- Főleg légköri ablakokban mér
  - Felhők felszín (aeroszol) paraméterek
- WV elnyelési sávok
  - Felső troposzféra vízgőz alakzatok
    - Felsőtroposzféra szelek
    - Dinamikai jelenségek (PV anomália …)

Jobb területi és időbeli felbontás

MTG
rapid scan

még nem végleges, hogy hogyan fogják az összes csatornát real-time továbbítani

(rapid scan adás a második MTG-I fellövése után)

2025-től lesz
FCI (full disc + rapid scan) + MTG-S)

•Jobb területi felbontás → részletdúsabb kép - Kisméretű objektumok (pl. völgyköd) jobb megfigyelése.

•Jobb időbeli felbontás → Többlet információ a gyors folyamatok megfigyeléséhez (pl. zivatar)
Heves időjárási események előrejelzése, korai riasztások kiadása

• Új csatorna VIS0.4, VIS0.5 →
- •Természetes színű kompozit kép
- •Jobb aeroszol megfigyelés (főleg szárazföld felett) – jobb vulkáni hamu, füst, porfelhő elkülönítés

•Új csatorna NIR0.9 →
- •Nappal pontosabb kihullható víz tartalom az alacsony rétegben (főleg szárazföld felett) →
  pontosabb kihullható víz tartalom vertikális oszlopban

•Új csatorna NIR1.3 →
- •A nagyon vékony cirrusz felhők megbízhatóbb detektálása

•Új csatorna NIR2.2 →
- •A felhő mikrofizika pontosabb számítása
  (a felhő tetején lévő részecskék halmazállapota és átlagos mérete)

•Módosított csatorna IR3.8 →
- • Jobb tűzdetektálás , (nem lesz túl nagy a terület)…

Jobb területi felbontás → részletdúsabb kép - Kisméretű objektumok élesebbek

SEVERI (09:00 UTC)

MODIS (09:00 UTC)

20 July 2014

Más a területi felbontás (3km → 1km), spektrálisan hasonló

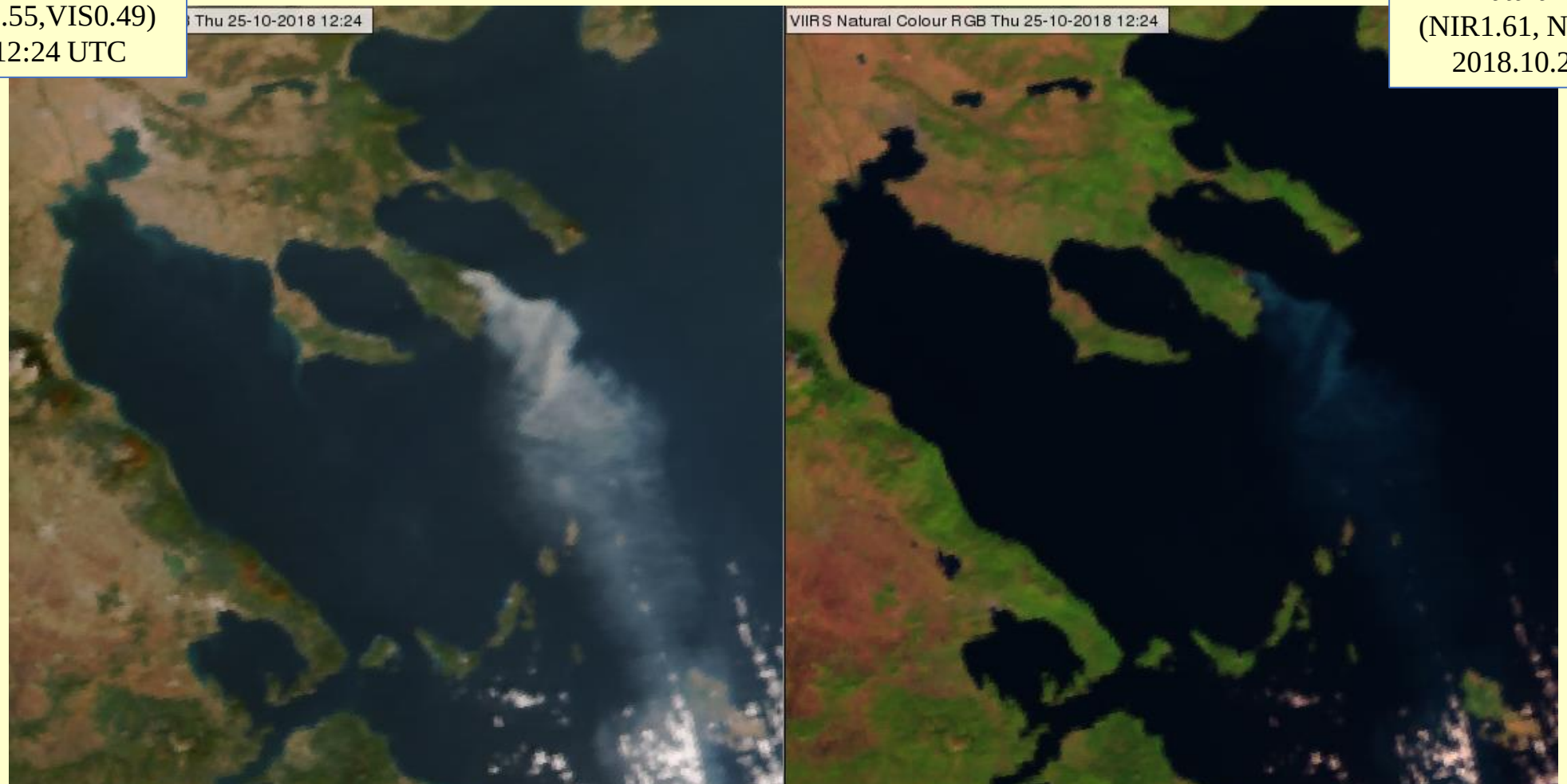
Új csatorna VIS0.4, VIS0.5 →

- Az aeroszol réteg jól detektálható + aeroszol típus azonosítása: füst, por, homokfelhő, vulkáni hamu
- Valós színű kompozit kép készíthető
  - Felszíni alakzatok, növényborítottság könnyebben felismerhetőek
  - Érthetőbb a nagyközönségnek

NPP/VIIRS
Valós színű RGB
(VIS0.67, VIS0.55,VIS0.49)
2018.10.25. 12:24 UTC

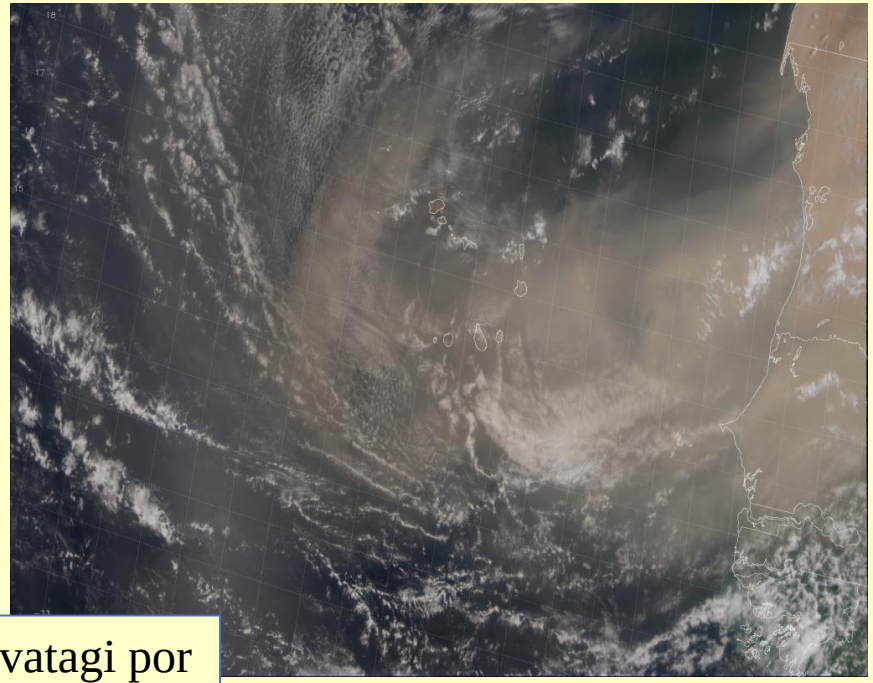
Füst detektálás

NPP/VIIRS
Natural Colour RGB
(NIR1.61, NIR0.87,VIS0.67)
2018.10.25. 12:24 UTC

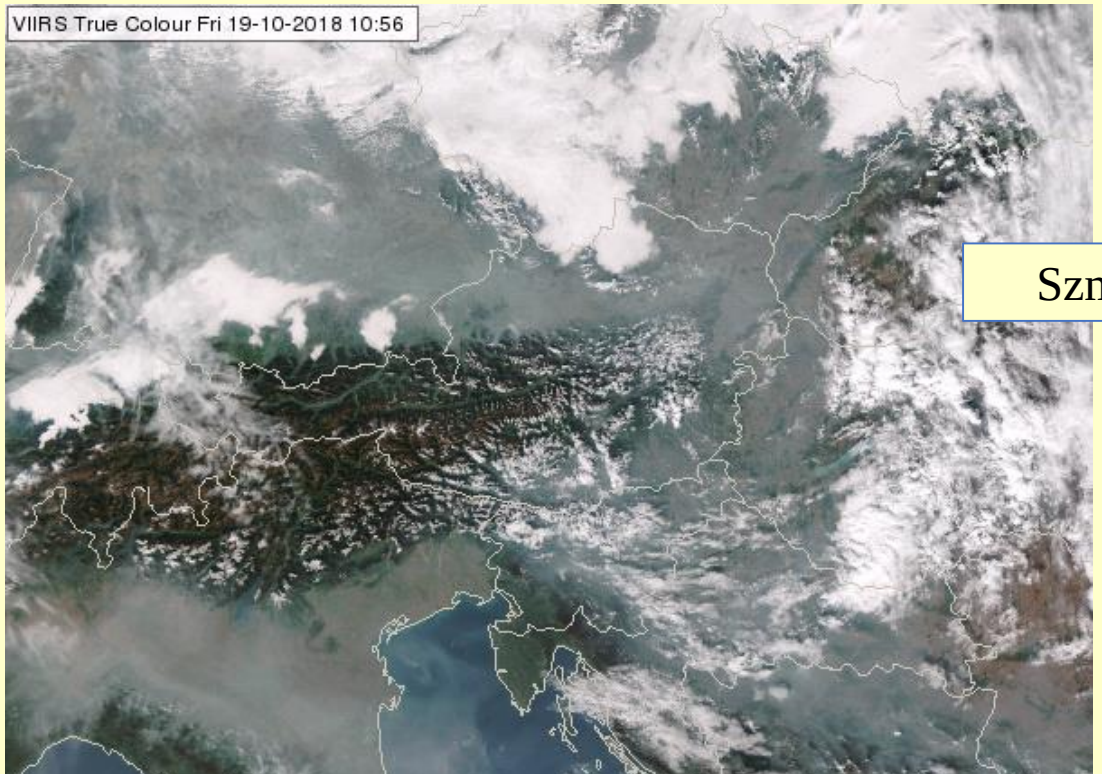


750 m felbontás

Füst

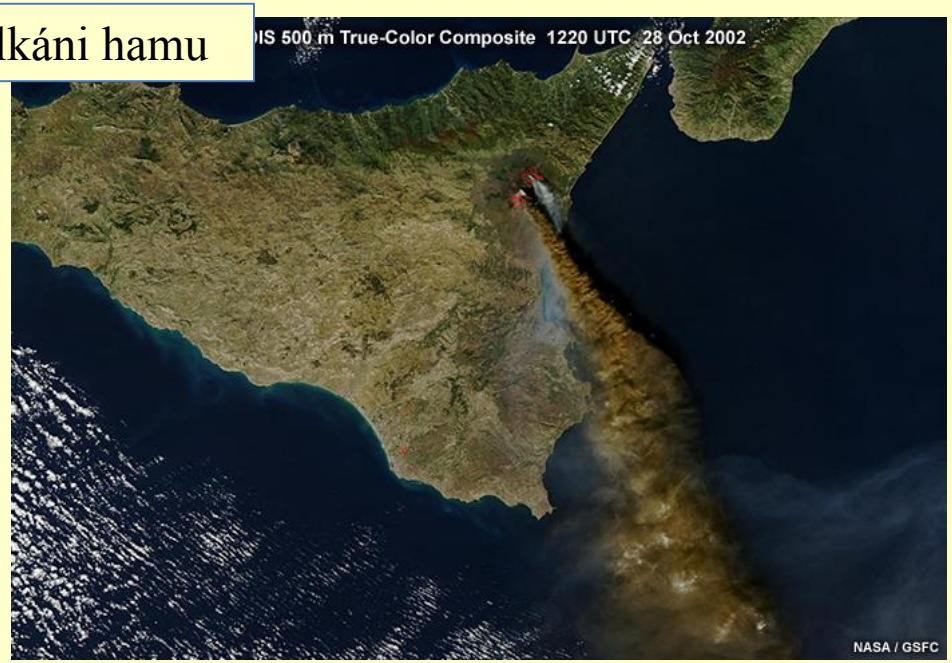


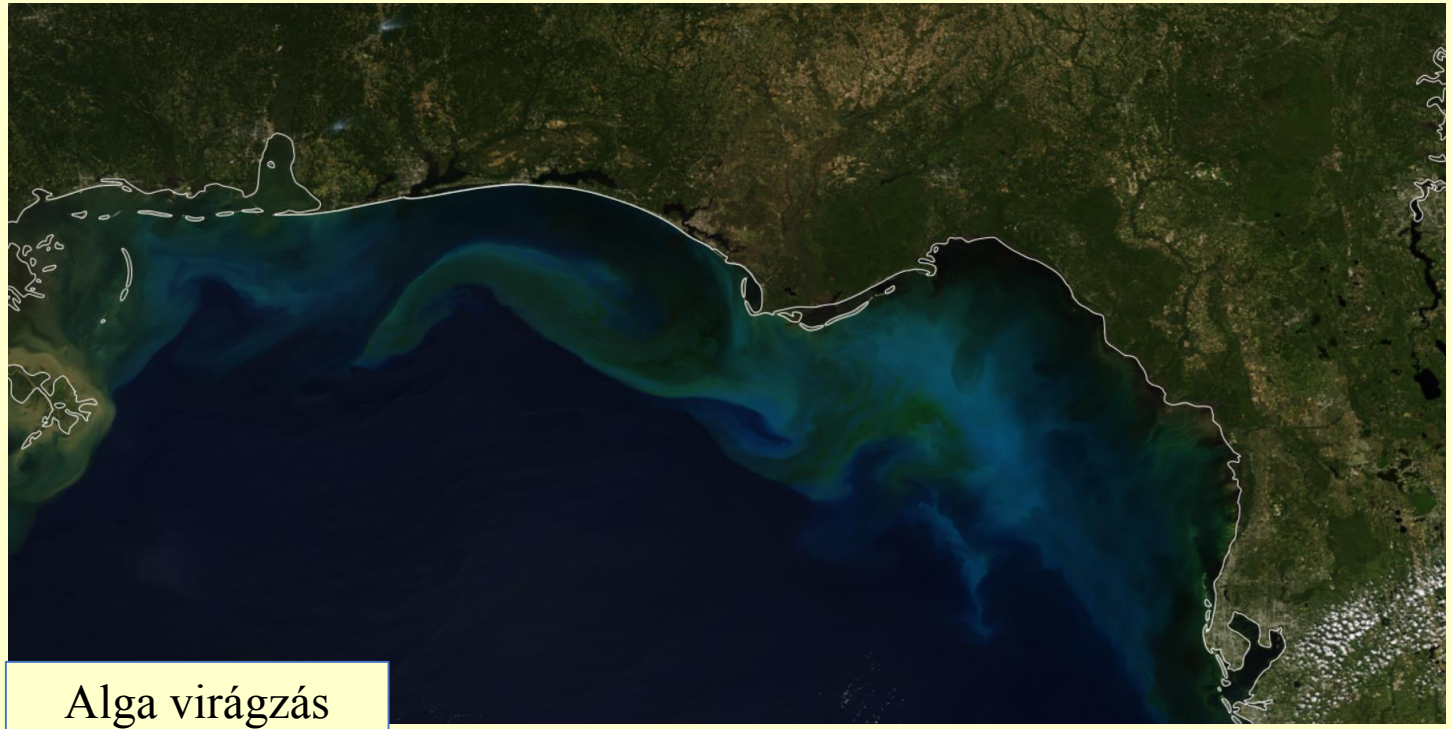
Sivatagi por



Szmog

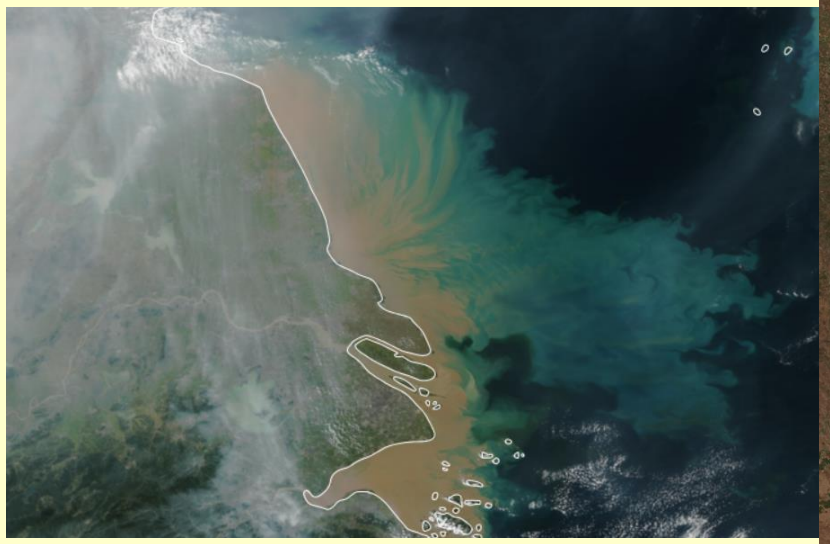
Vulkáni hamu

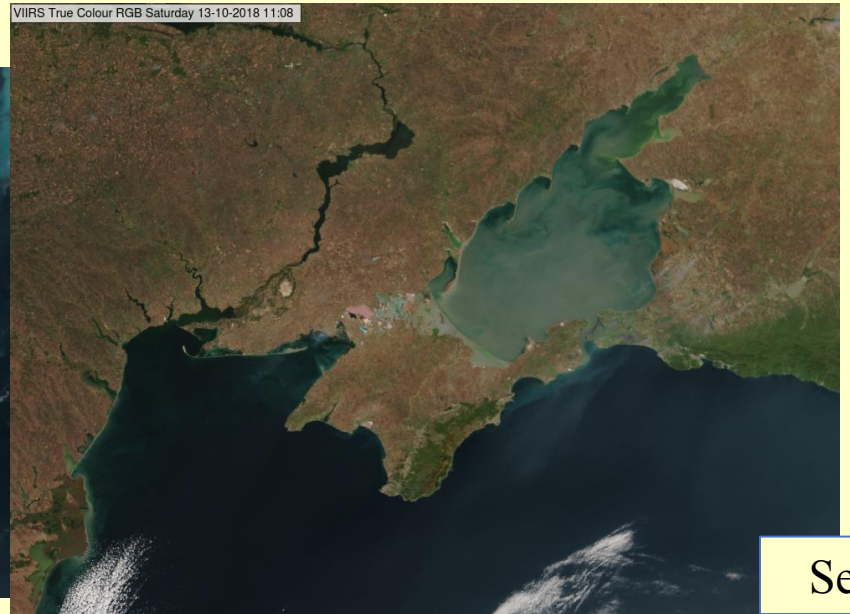




Alga virágzás

Hordalék





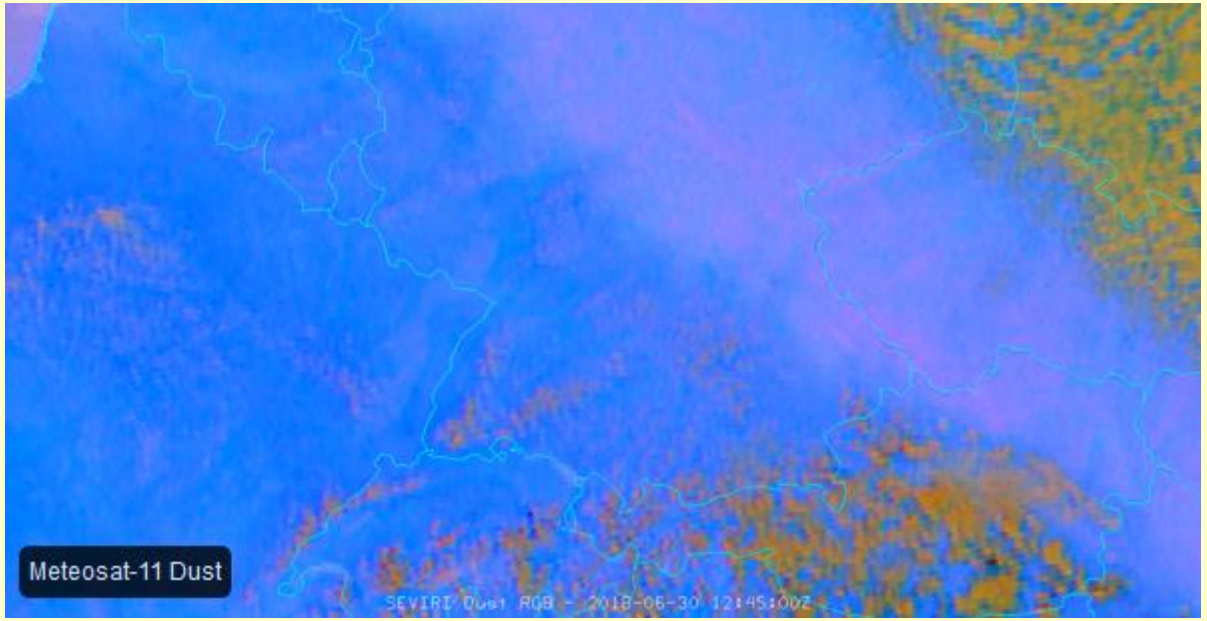
Sekély víz, nagy lebegőanyag tartalom

Új csatorna NIR0.91 → <u>Gyenge</u> vízgőz elnyelés

Nappal, derült területen pontosabb **kihullható víz tartalom a földközeli rétegben** (főleg szárazföld felett) →

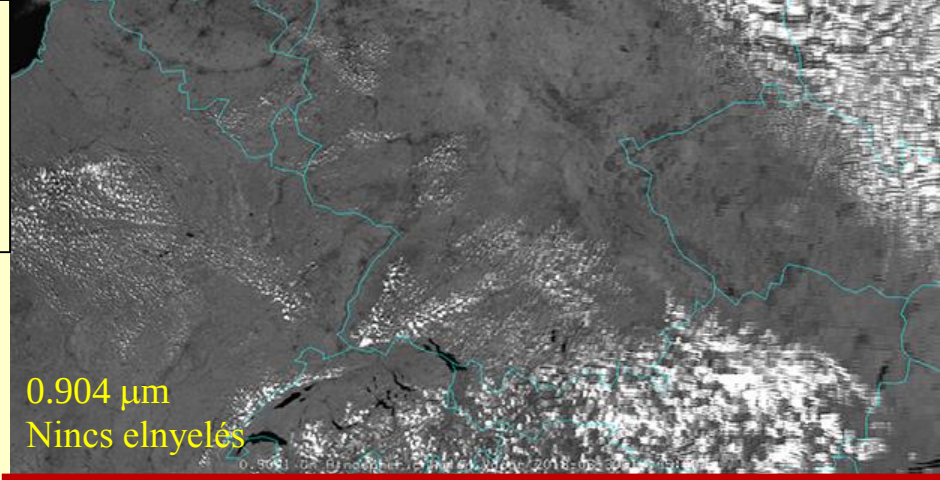
(eddig (IR12.0-IR11.2) különbséget használtuk az RGB-kben)

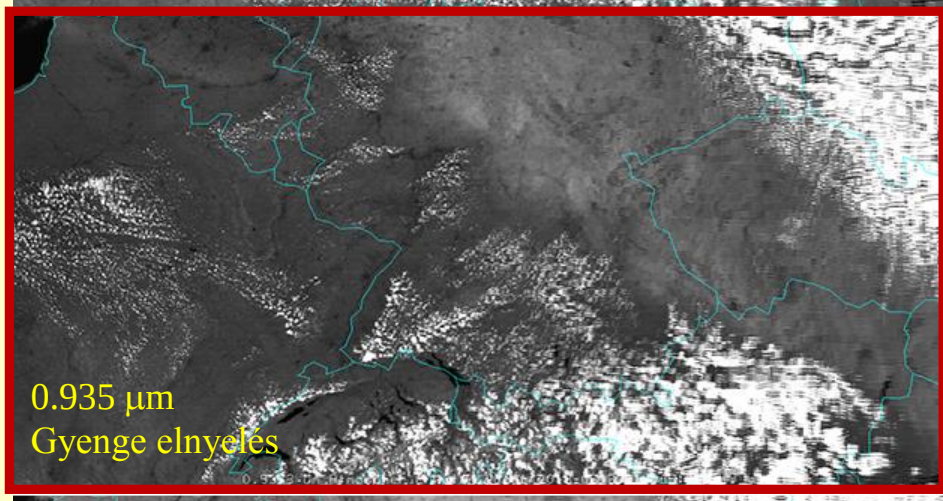
Moisture boundary

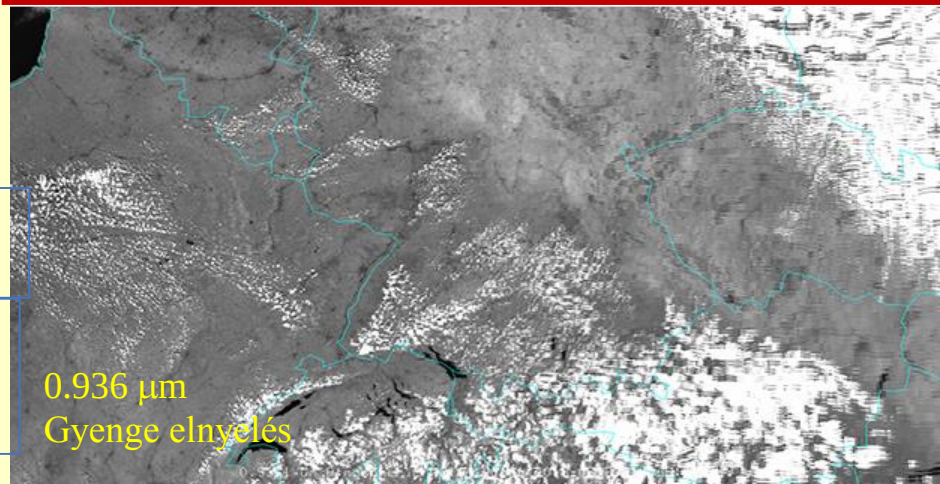


SEVIRI, Por RGB, (**IR12.0-IR10.8**, IR10.8-IR8.7, IR10.8)
30 June 2018 09:25 UTC
Derült területen
Kevesebb piros árnyalat - nedvesebb alsó troposzféra
Több piros árnyalat - szárazabb alsó troposzféra

https://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_4050411.html







MODIS
1 km felbontás

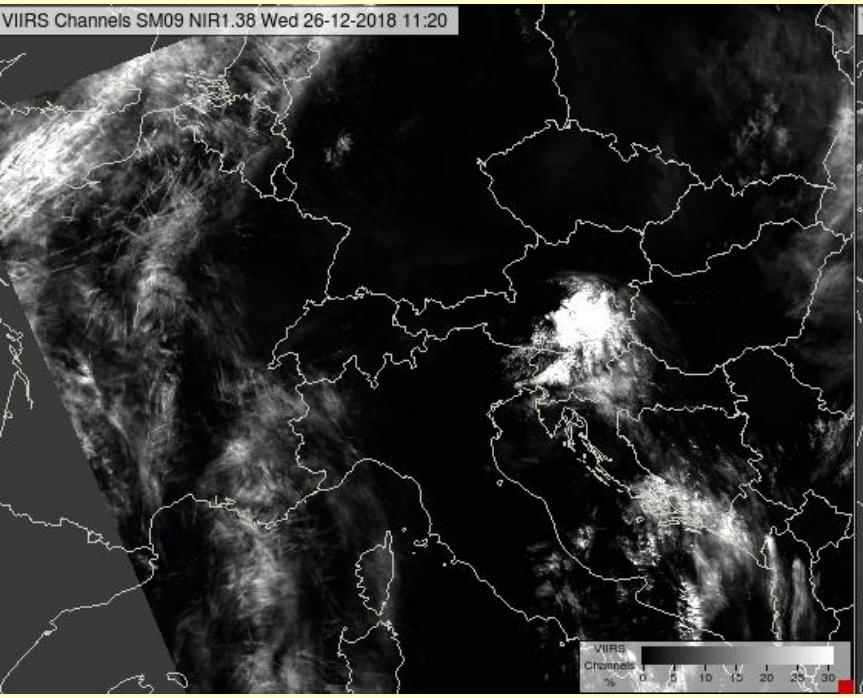
Derült területen
Sötétebb - nedvesebb alsó troposzféra
Világosabb - szárazabb alsó troposzféra

Új csatorna NIR1.3 → Erősebb vízgőz elnyelés → a felszín, alacsony felhő általában nem ‘látszik’

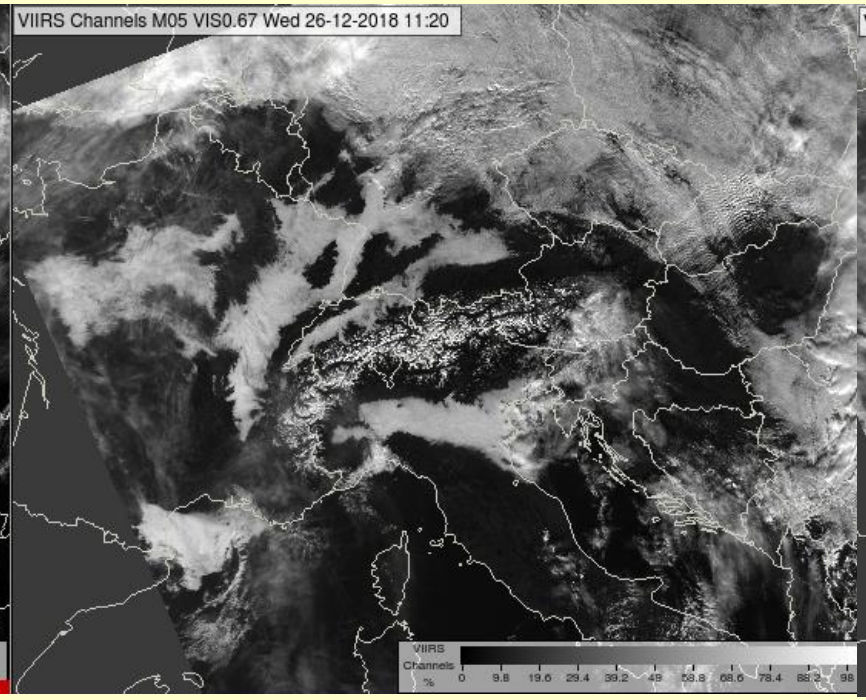
- A nagyon vékony cirrus felhők megbízhatóbb detektálása (jobban ‘látszik’ a sötét háttér előtt) → Eddig nem detektált felhők detektálása
- Felső troposzféra nedvesség és vékony cirrus jobb elkülönítése

NIR1.3 képen általában csak a felső troposzféra felhői látszódnak.

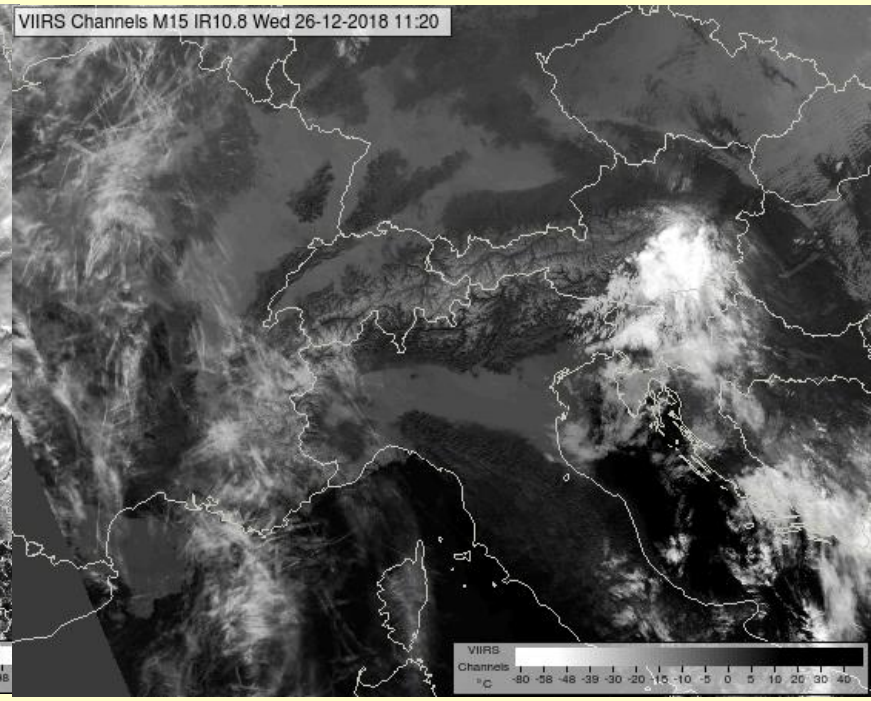
2018.12.26. 11:20 UTC



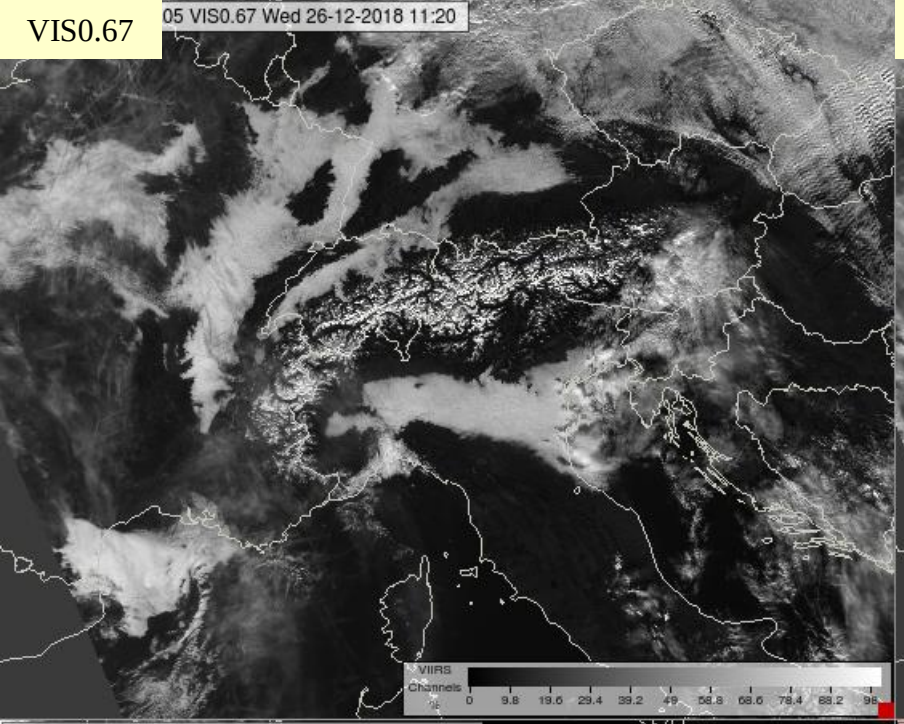
VIIRS NIR1.38 (0-30%)

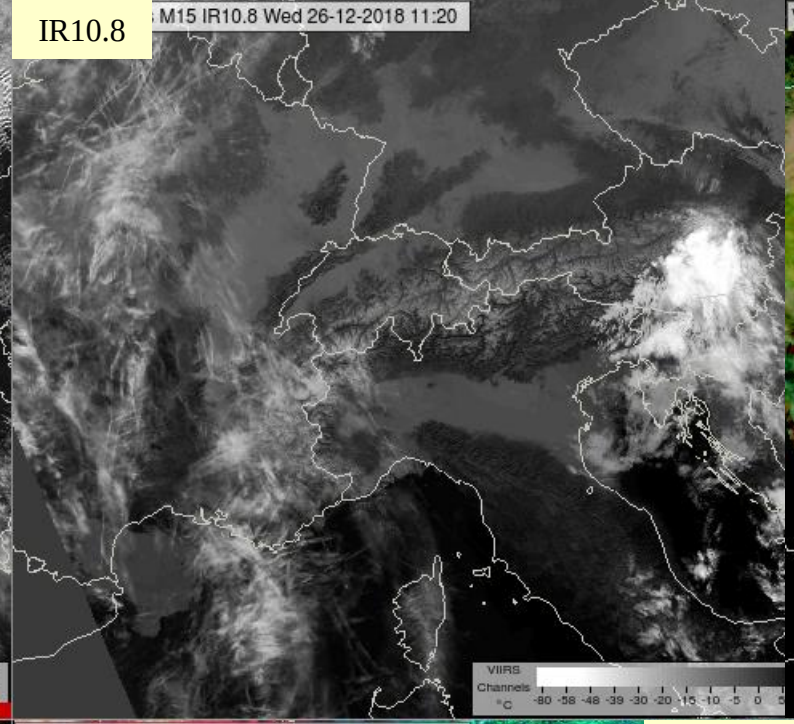


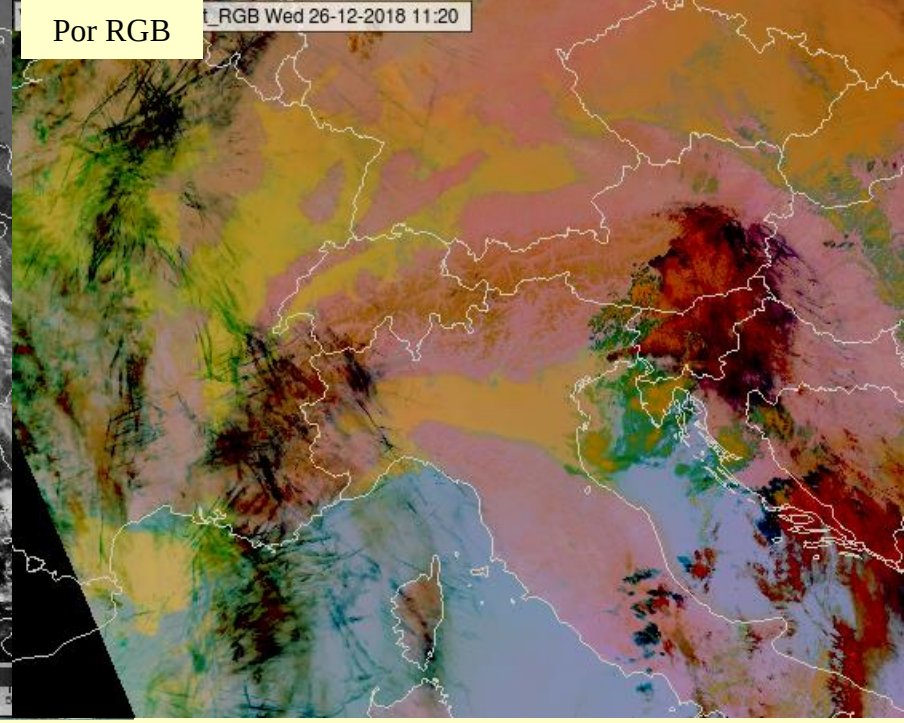
VIIRS VIS0.67 (0-100%)

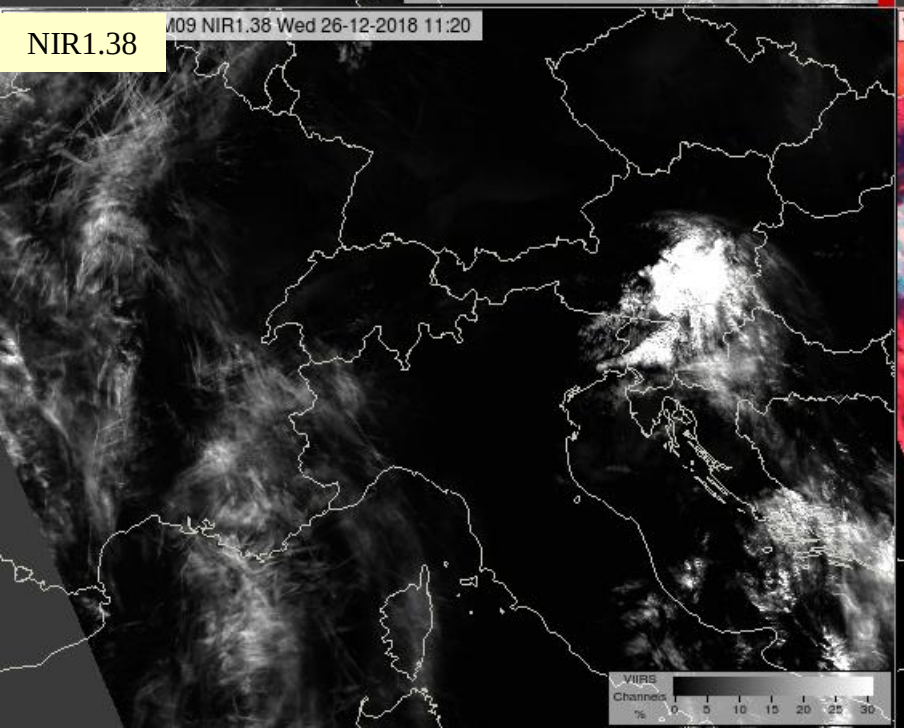


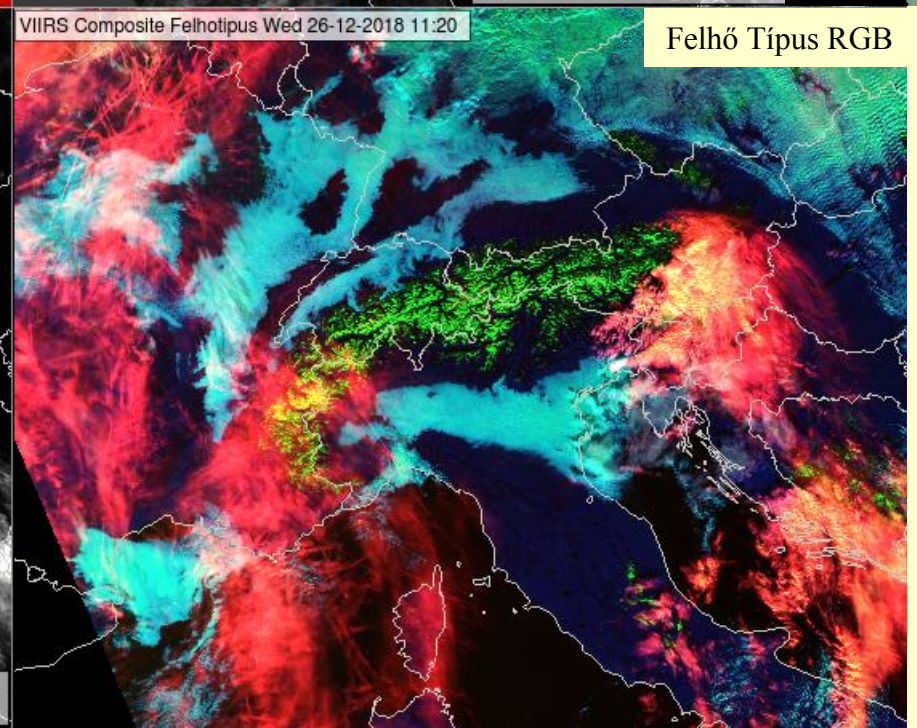
VIIRS IR10.8 (-50,+15 °C)











2018.12.26. 11:20 UTC

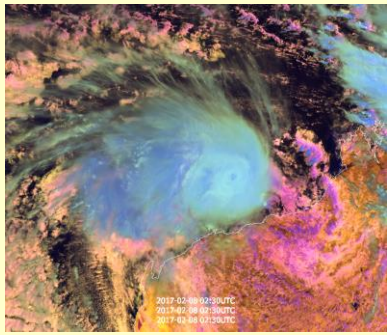
Piros – vékony cirrus szárazföld felett
Sárga – vastag jégfelhő
Türkiz – alacsony felhő
Zöld – hó
Sötétkék – derült szárazföld
Fekete – derült tenger

Új csatorna NIR2.2 → mikrofizikai csatorna –

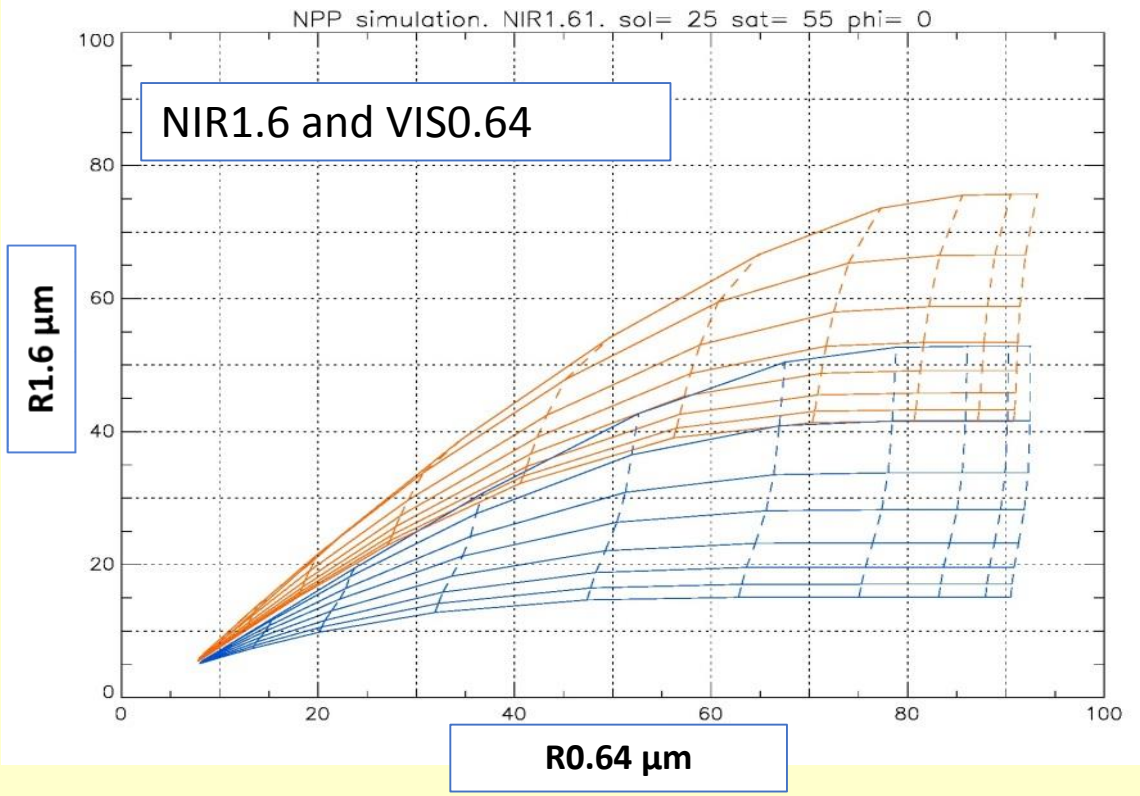
- **NIR1.6 és NIR2.25 csatornák együtt - pontosabb felhőtető mikrofizika információ – jobb jégfelhő - vízfelhő elkülönítés**

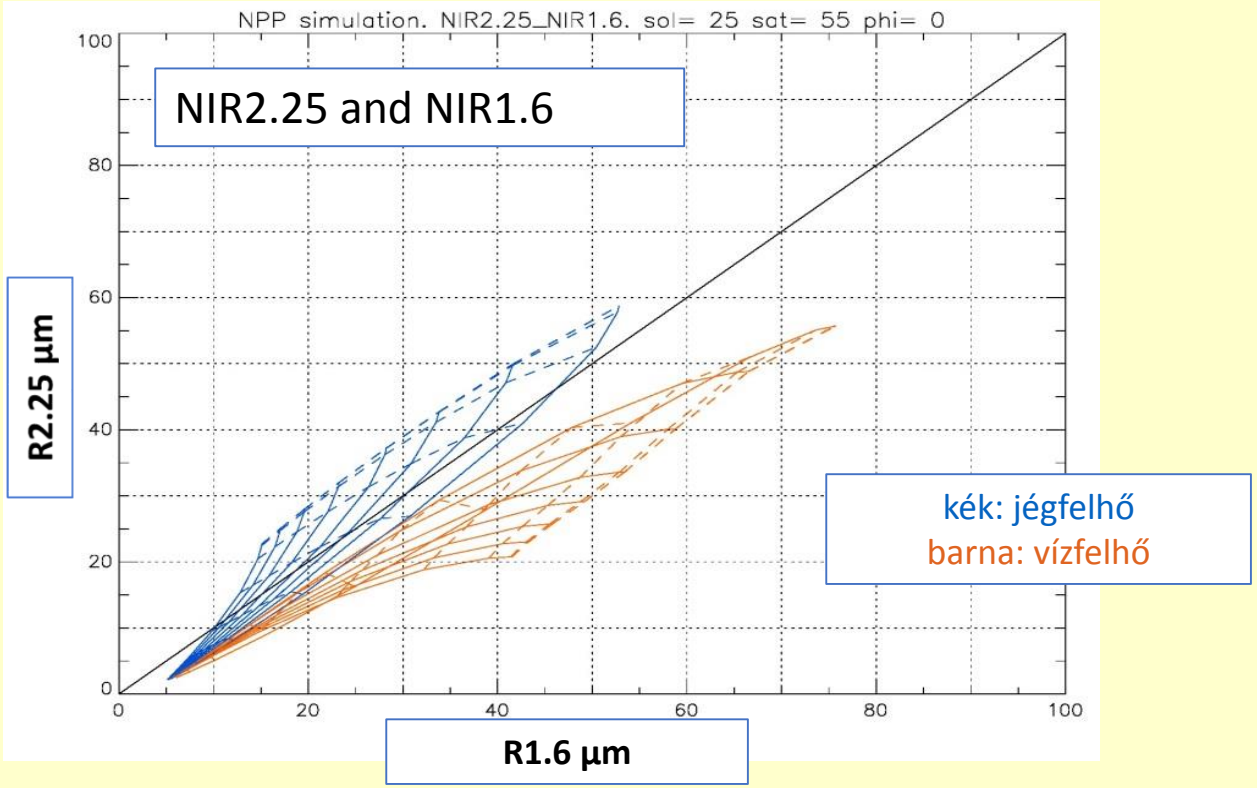
(a felhő tetején lévő részecskék halmazállapota és átlagos mérete)

- Heves **zivatar** tanulmányozása - folyamatok megértése + nowcasting
- **Aeroszol-felhő kapcsolat** - folyamatok megértése + éghajlatra gyakorolt hatás



Víz- és jégfelhő szimulált reflektivítása sötét felszín felett 2-2 hullámhossz párra. Paraméterek: optikai vastagság és részecskeméret



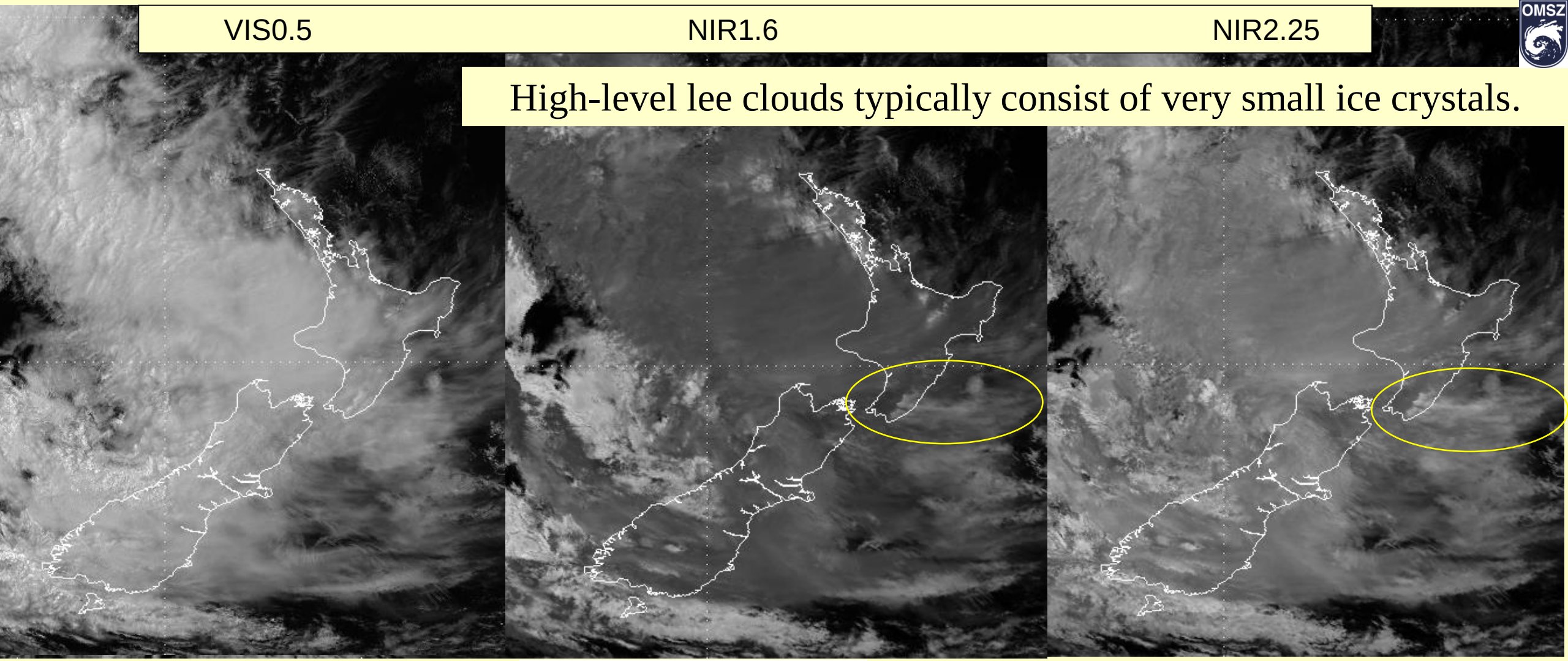


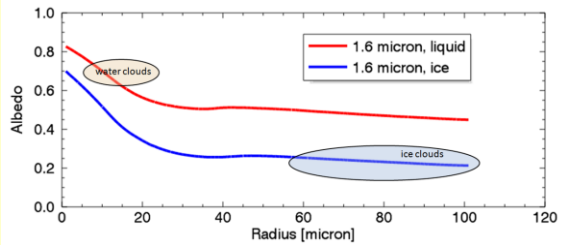
Átfedés van a víz- és jégfelhő görbék között

Nincs átfedés, ezt a csatorna párt használva a fázis azonosítás megbízhatóbb.

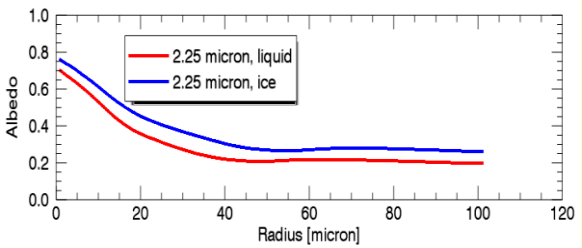
VIS0.5 NIR1.6 NIR2.25

High-level lee clouds typically consist of very small ice crystals.





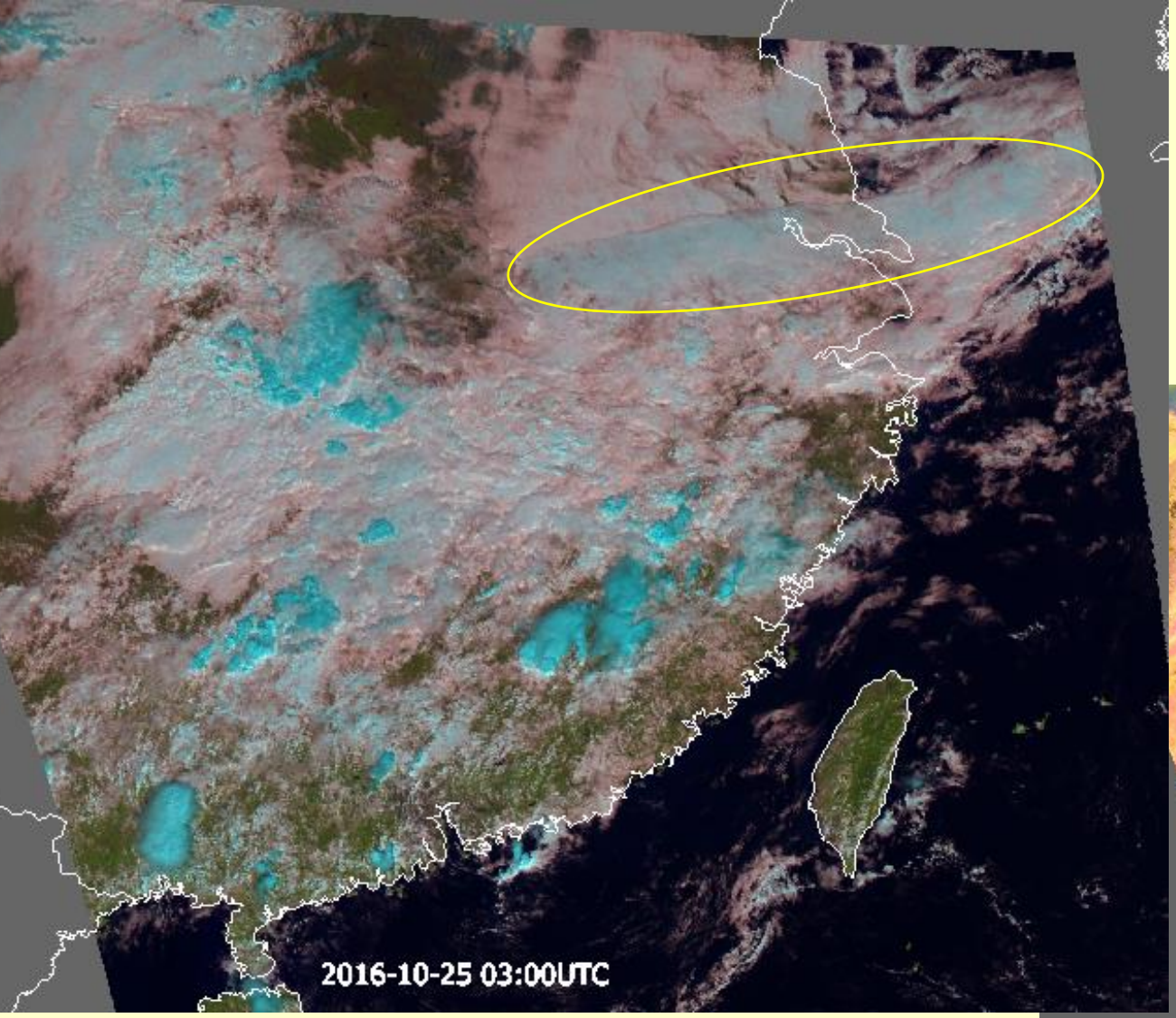
A NIR1.6 csatornában a jégfelhők általában sötétebbek, mint a vízfelhők.



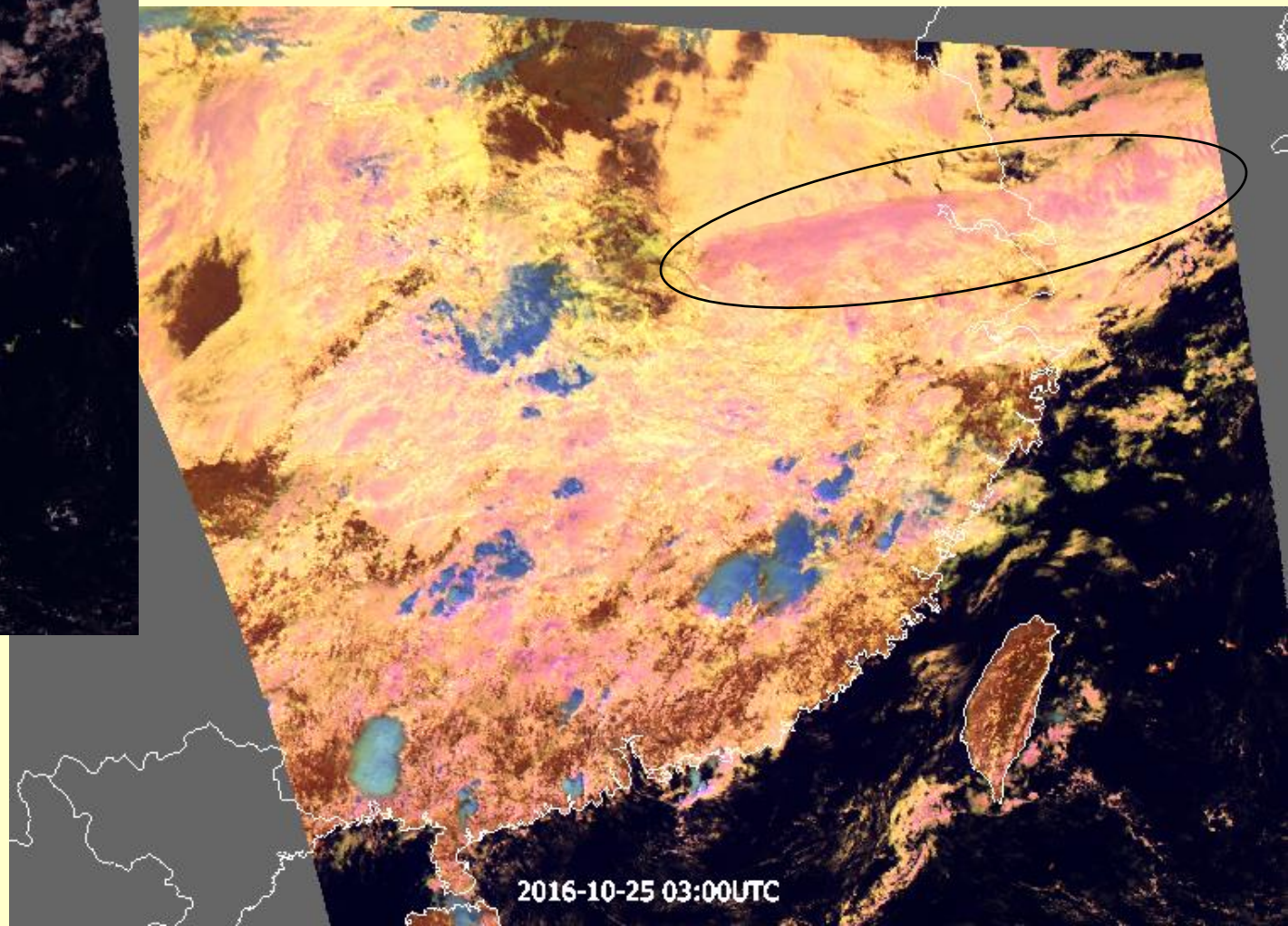
A NIR2.25 csatornában a kis részecskék világosabbak, mint a nagy részecskék.

Sötétkék- jégfelhő nagy jégkristályokkal a felhőtetőn
Világoskék- jégfelhő nagy jégkristályokkal a felhőtetőn
Rózsaszín – vízfelhő nagy cseppekkel
Sárga – vízfelhő kis cseppekkel
Barna – derült szarazföld
Fekete – derült tenger

Felhő Fázis RGB
(NIR1.6, NIR2.25, VIS0.6)



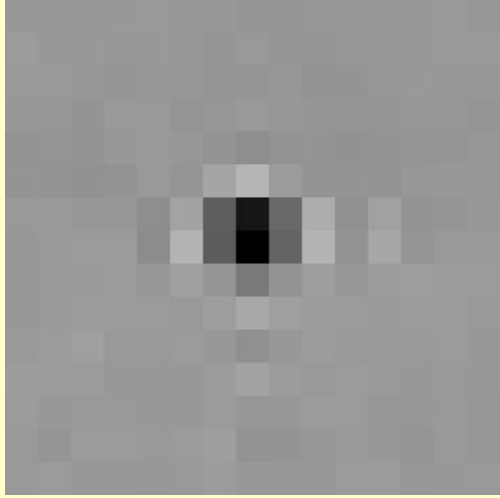
Natural Colour RGB
(NIR1.6, VIS0.8, VIS0.6)

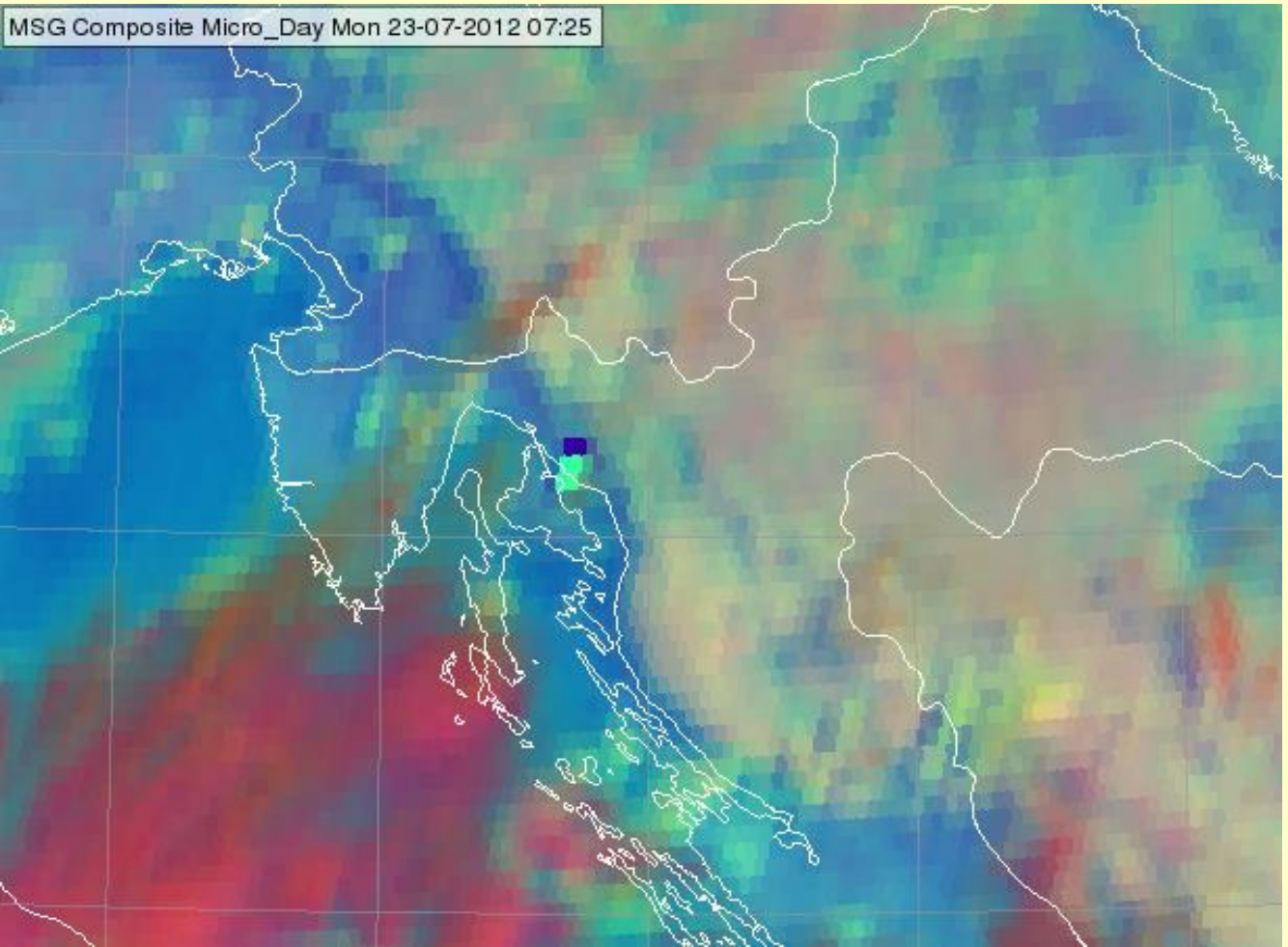


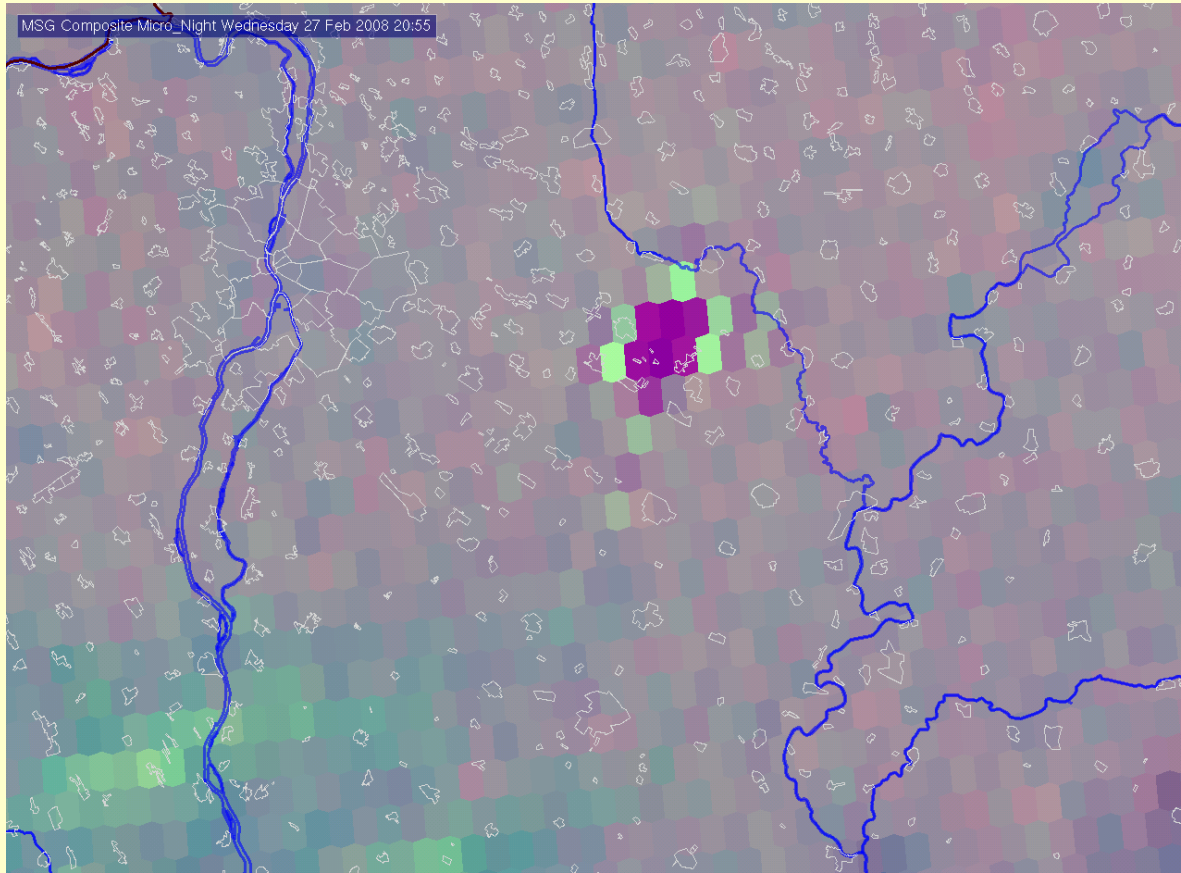
A fázis detektálása problematikus nagy cseppek/kis jégkristályok esetén, ha mikrofizikai csatornaként csak a NIR1.6-t használjuk

Módosított csatorna IR3.8 →

- A módosított csatornában kisebb a CO_2 elnyelése.
- Az új csatorna ‚kettős érzékenységű”
  - Tűz esetén se telítődik
  - hideg hőmérsékletű objektum mérésénél is elég érzékeny
    - SEVIRI esetén a tűz területét sokkal nagyobbra adta. A detektor túl erős jelet kapott.
- Jobb tűzdetektálás,



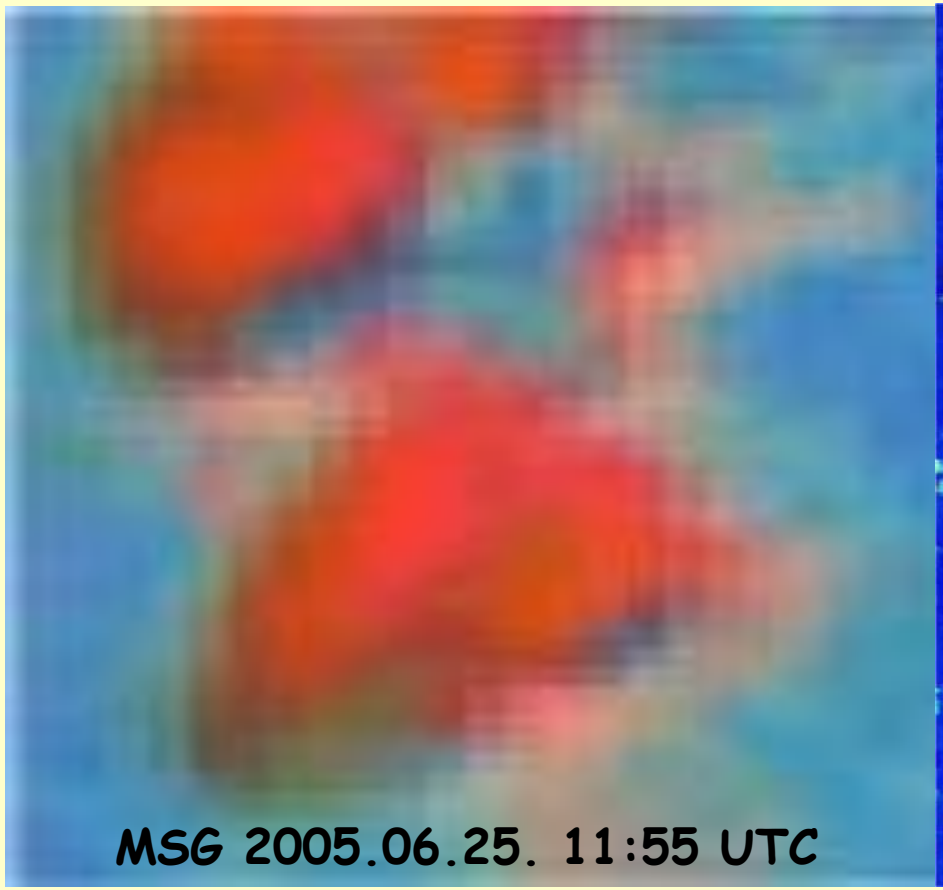




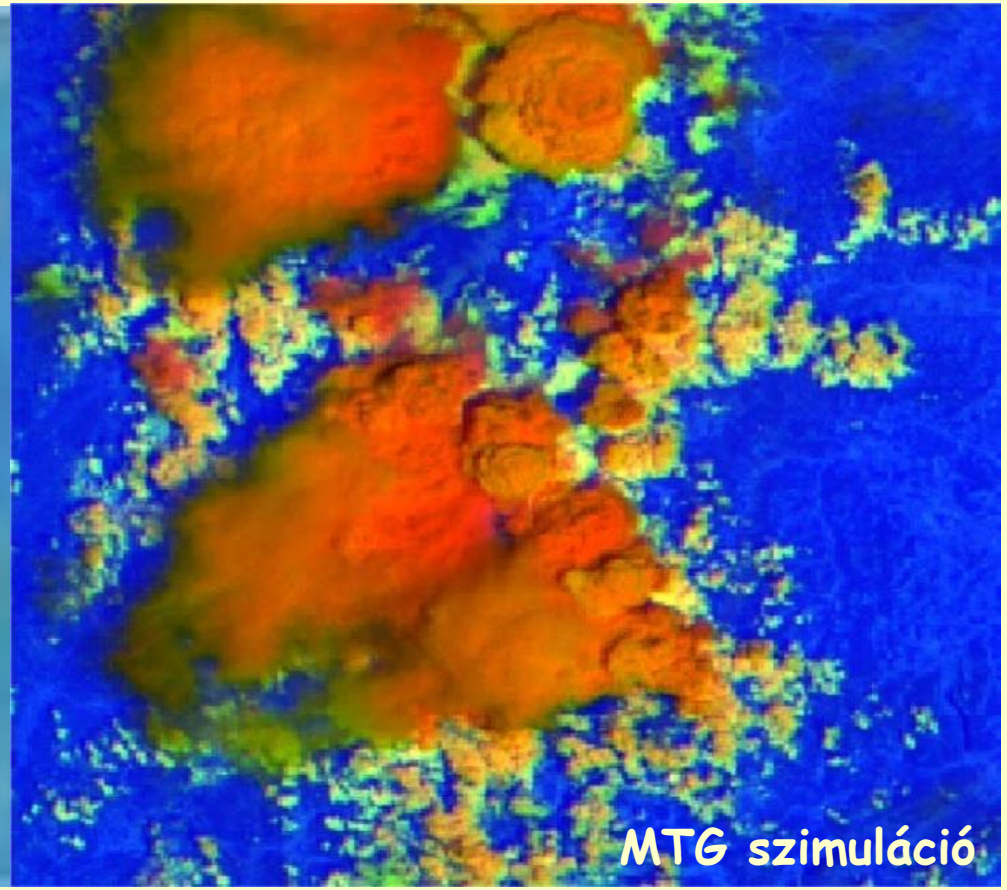
Rapid scan

2.5 perces képek, 4 sáv 2x területi felbontásban, Miért ezeknek a sávoknak növelték meg a területi felbontását a rapid scan adásban?

VIS0.6 - felszín, felhő, albedó, aeroszolok stb…
NIR2.2 - Felhőtető mikrofizika - **Felhőtető mikrofizika-szerkezet nagy idő és területi felbontásban**
Heves zivatar tanulmányozása, Aeroszol-felhő kapcsolat
IR3.8 - Tűz detektálása, mikrofizika - jobb felbontásban, köd – nappal & éjszaka - jobb felbontásban
IR10.5 - Hőmérséklet (felszín & felhő)



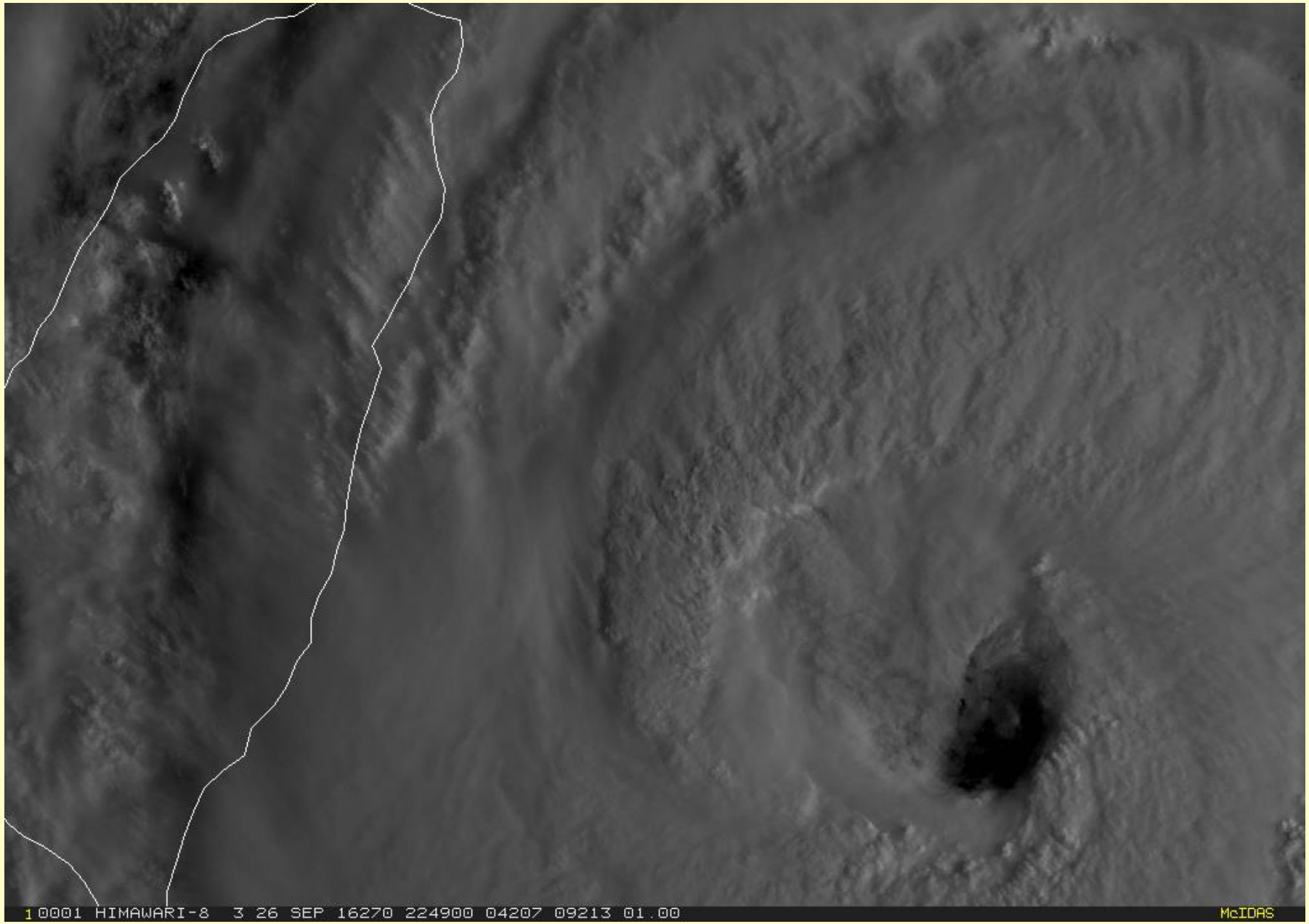
(VIS0.8, IR3.9refl, IR10.8)



(VIS0.6, NIR2.1, IR10.5)

Területi felbontás 6x ,
Időbeli felbontás 2x

Typhoon Megi approaching Taiwan – 26 Sep. 2016 – Himawari, 2.5 min. Rapid Scan VIS



LI Lightning Imager optikai **villámdetektálás** (777.4 nm) (MSG-n nincs, új generációs GOES-on van)

A felhő-felhő (CC, IC) és a felhő-föld (CG) villámokat is detektálja, de nem tudja egymástól megkülönböztetni,

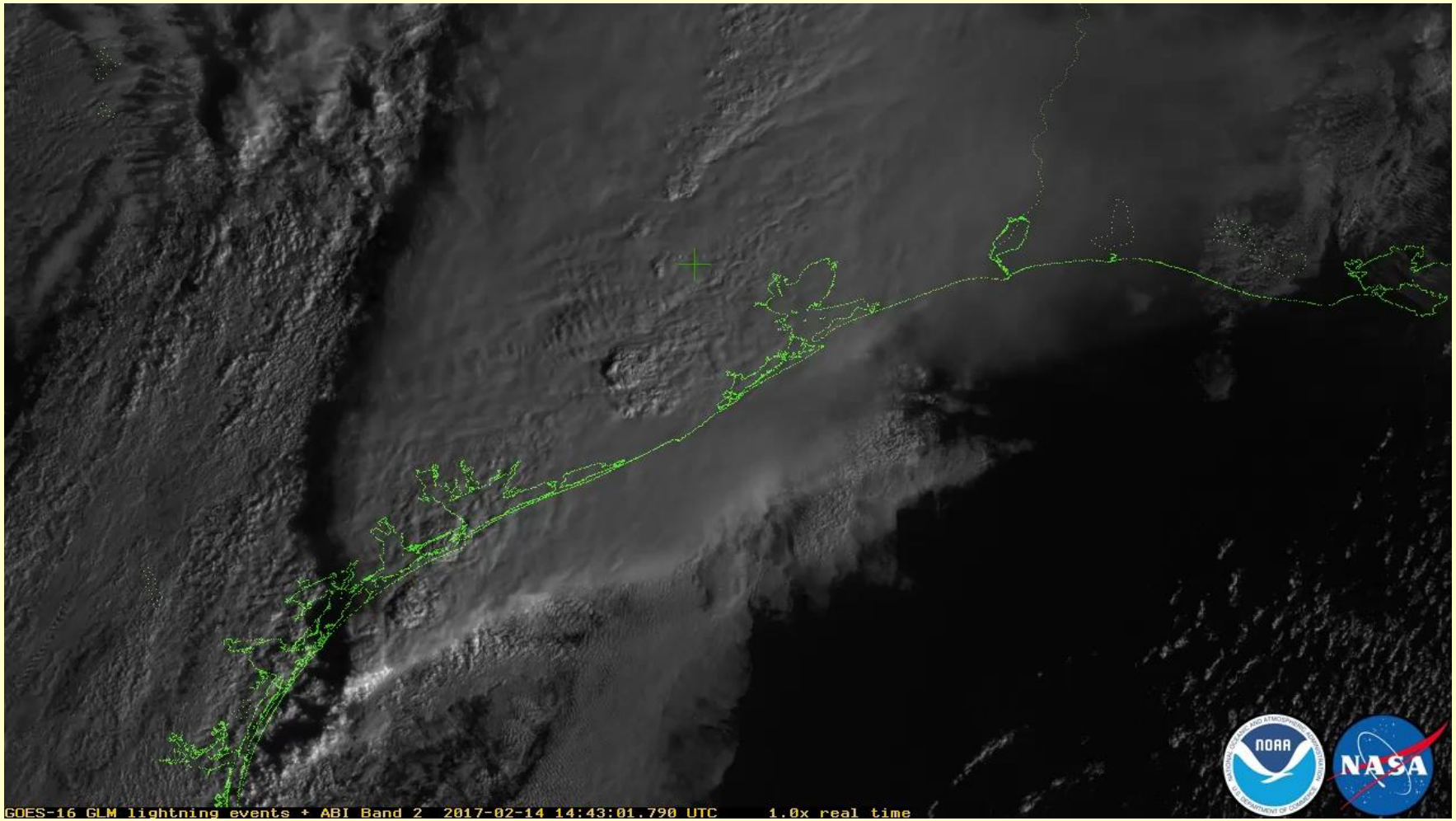
hatásfok: (40)-70-90% (napszaktól függ, nappal és CG-re rosszabb, (fényes háttér)

idő-felbontása folyamatos, (**2 perc alatt** a felhasználónál kell lennie) (nincs szkennelés)

térbeli felbontás **4.5-10 km,** **MTG + GOES-R/S + FY-4(A-G): közel globális lefedettség**

GOES-16 Global Lightning Mapper
+ ABI VIS0.64
17.02.2017, 14:43:01-14:43:31 UTC
Fél perc, gyorsítás nélkül

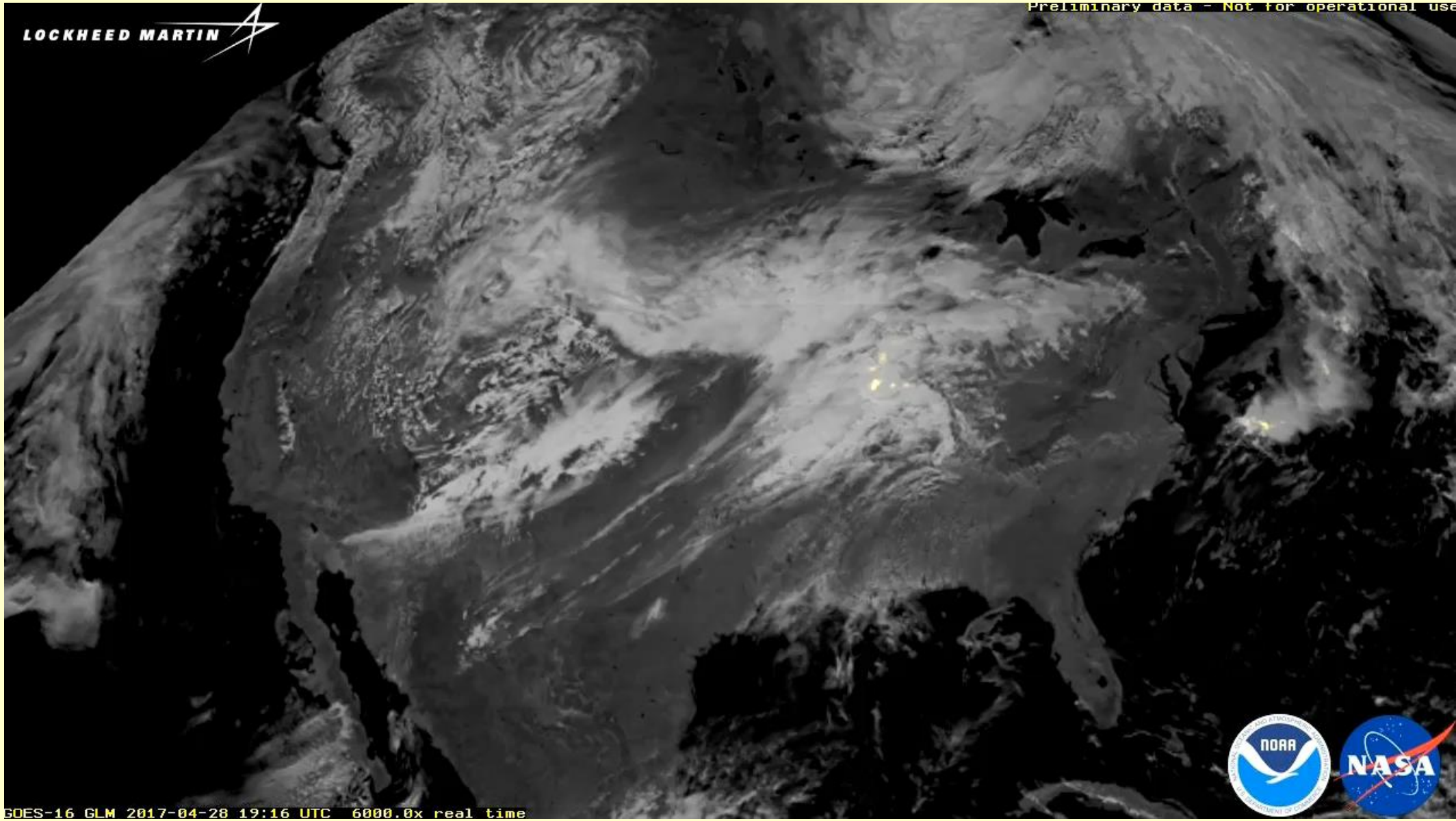
Kattints a képre! →



https://www.nesdis.noaa.gov/content/goes-16-lightning-mapper-animations

GOES-16, GLM + ABI VIS0.64**,** (19:16 UTC 28 April - 05:46 UTC 1 May 2017) - Severe weather over US

Kattints a képre! →



https://www.nesdis.noaa.gov/content/goes-16-lightning-mapper-animations

6000x-re gyorsítva

Célok: **<u>Zivatarok megfigyelése</u>**, vizsgálata, **<u>repülés</u> biztonság**, **nowcasting**

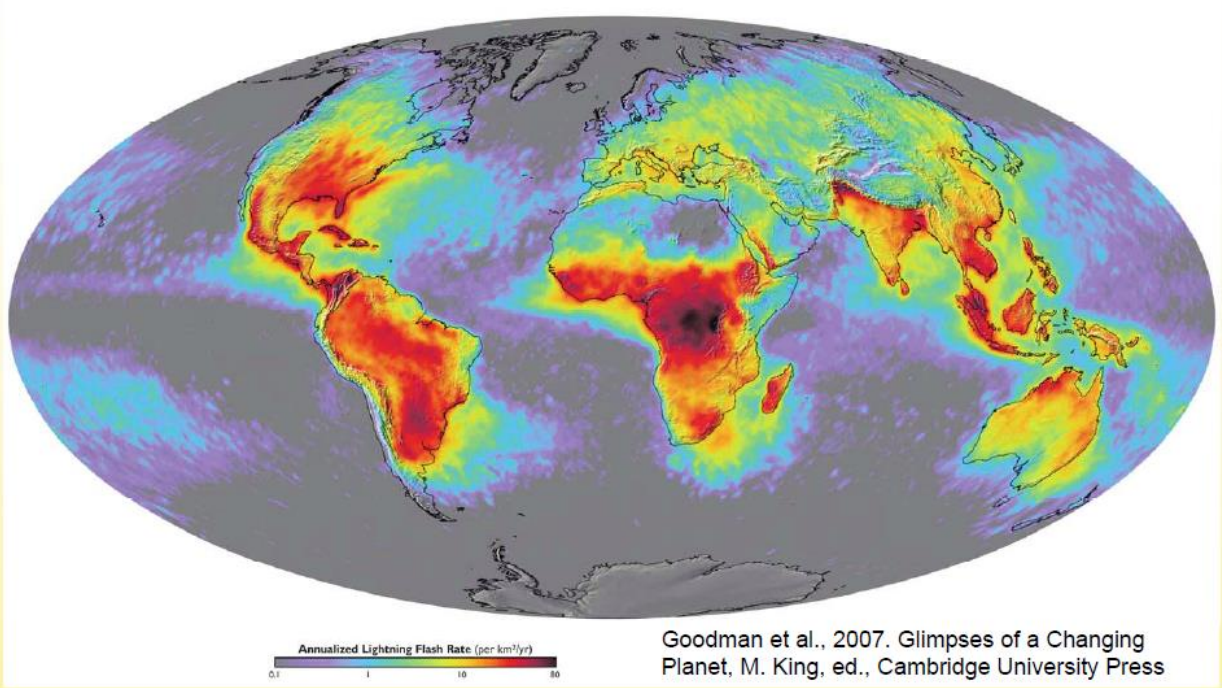
Riasztások javítása, hol várható heves zivatarok kialakulása?

Tűzveszélyes terület (aszályos terület + villám)

Asszimiláláshoz homogén adat

Levegőkémia segítése, segéd adat, <u>villámlásnál **NOx** keletkezik</u> (ózon bontó, savas esők)

Éghajlattani vizsgálatok (villám statisztikák)



Átlagos éves villám sűrűség
(1995-2003)
OTD és LIS: villám detektáló berendezések poláris műholdakon

„Lightning jump” A villámok számának hirtelen ugrása a zivatar erősödésére, esetleges heves voltára utal.

A CC/IC villámok legalább 10 perccel előbb megjelennek, mint a CG lecsapó villámok.

IRS infravörös szondázó berendezés Fourier-interferometer (geoszinkron holdon új!)

Folyamatos spektrumot mér két IR tartományban. (4.44–6.25 μm és 8.26–14.70 μm).

MetOp AISI műszerhez hasonló

Időbeli felbontás: Európában 30 perc

Hiper-spektrális mérés

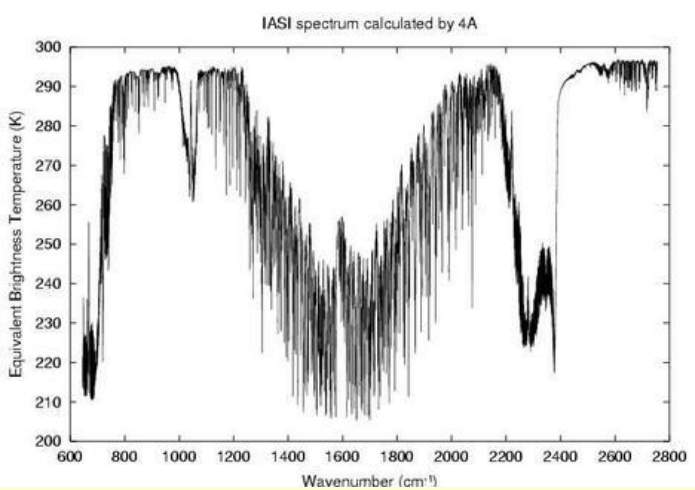
Fő cél: hőmérséklet és nedvesség (szél) profilok előállítása.

Derült területen teljes profil - borult területen csak a felhők felett.

Szélmező 3-D! (3-D nedvesség mezőből származtatják) (később)

Másodlagos cél: egyes nyomgázok mennyisége is származtatható, troposzférikus össz-O_3, CO ...,

Aeroszol, vulkáni hamu, …

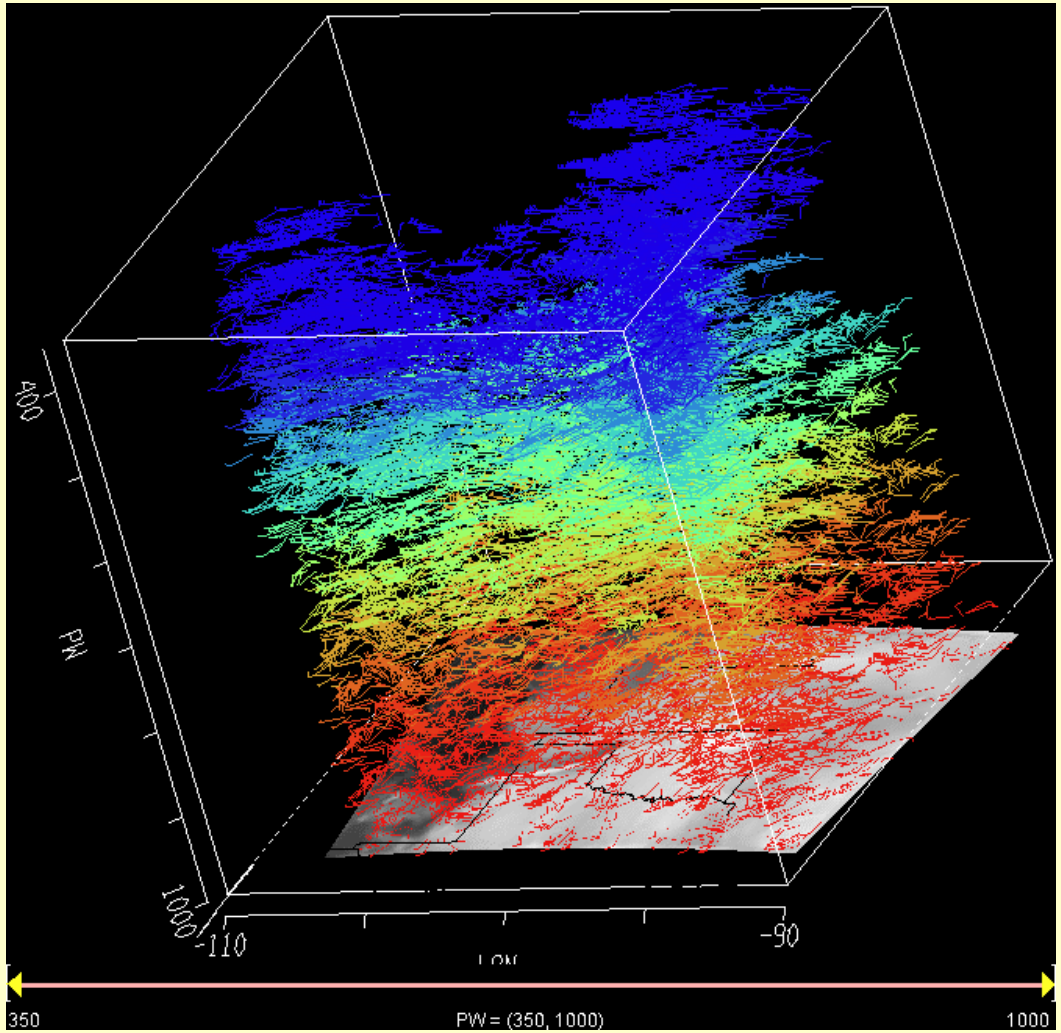


	Horizontális felbontás	Vertikális felbontás	Pontosság
Hőmérsékleti profil	4-6 km	1 km	0.5-1.5 K
Nedvesség profil	4 km	2 km	10 %
Szél profil	30-60 km	**2 km**	~2 m/sec

Derült területen teljes profil - borult területen csak a felhők felett.
Szélmező 3-D! (3-D nedvesség mezőből származtatják) (később)

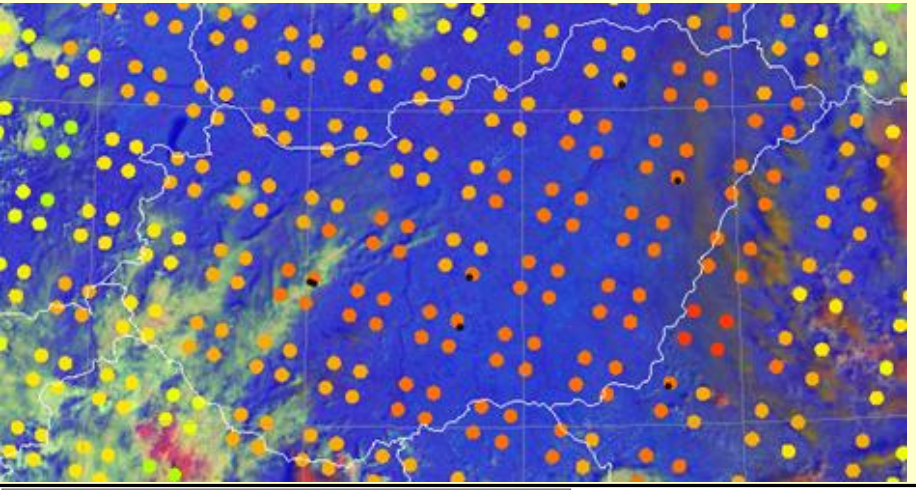
IRS szélmezőt ad a derült területekre,
Doppler radar a felhős/csapadékos területre.
Kiegészítik egymást.

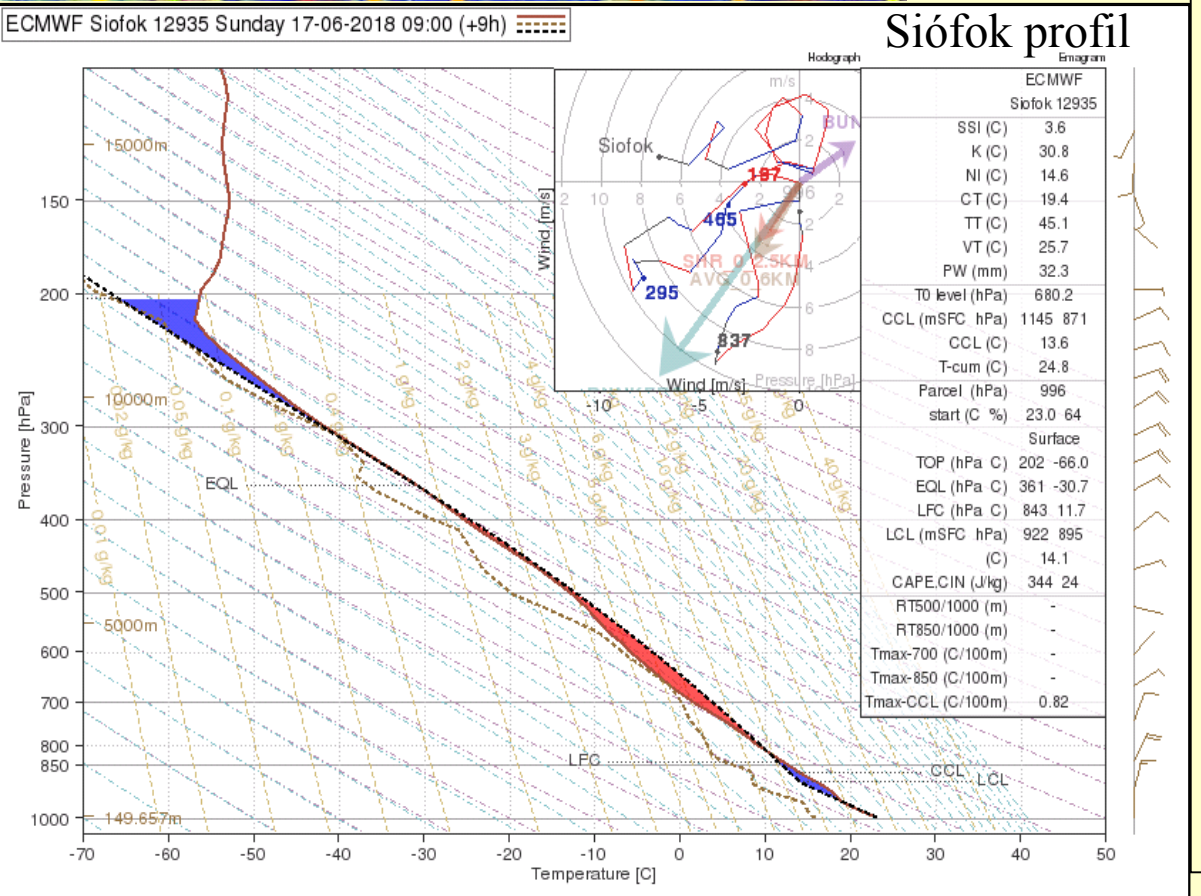
https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2017/17236-atmospheric-motion-vector-generation-mtg-irs.pdf



Szimulált 3D szélmező
MTG-IRS-hez hasonló GIFTS adatok feldolgozásával

AVHRR Day Micro RGB + IASI, 2018.06.17. 09 UTC





IRS Alkalmazás
NWP + NWC + Levegőkémia

- **Bemenő adat** a globális NWP modellek részére
- **Bemenő adat regionális és nagyfelbontású, km-es skálájú nem-hidrosztatikus NWP modellek részére** (nagy idő-/térbeli felbontású adatok) (pl. a csapadék előrejelzésének javulását várják)
- Nowcasting és rövidtávú előrejelzés támogatása 3D szél, hőmérséklet és nedvesség mezőkkel, illetve az ezekből származtatott egyéb információkkal, pl. **nedvességi konvergencia, konvektív instabilitás, …**
- Segíti a **levegőminőség megfigyelését és előrejelzését** is:
  - direkt módon: troposzférikus CO és O3 mérésekkel (határréteg felett), vulkáni hamufelhő megfigyelése (detektálás, koncentráció)
  - indirekt módon: a levegőminőség előrejelzésének pontossága nagymértékben függ a lokális mezoskálájú meteorológiai jelenségek előrejelzésének pontosságától (input).

UVN (Sentinel4) Ultraibolya, látható és közeli infravörös tartományú szondázó

cél: **aeroszol** optikai vastagság, **nyomgázok** **mennyiségének, profiljának** meghatározása.
Spektrométer - Szórt rövidhullámú sugárzást mér
3 tartományban **folytonos** spektrum (UV: 305–400 nm), (VIS: 400–500 nm) (NIR: 755–775 nm)

troposzférikus O3, NO2, SO2 és H2CO –
1 óránál gyakoribb megfigyelések - csak nappal
Terület: (30W-45E, 30N-65N) - Területi felbontás < 10 km.

Hiper-spektrális mérés

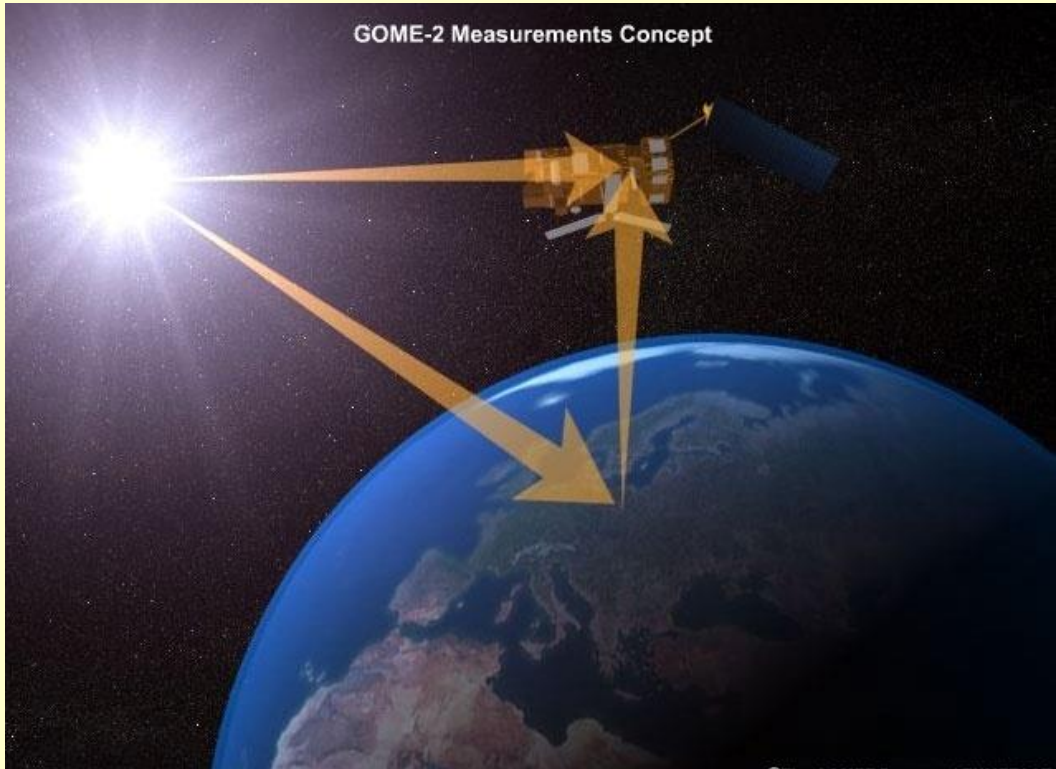
Derült területre pontosabb – felhős területre kevésbé pontos értékeket ad

Geoszinkron műholdon **nincs** elődje
Miért kellenek gyakori mérések?

-Levegőminőség megfigyelés
- Időbeli változás kisebb skálán (pl. vulkán kitörés)

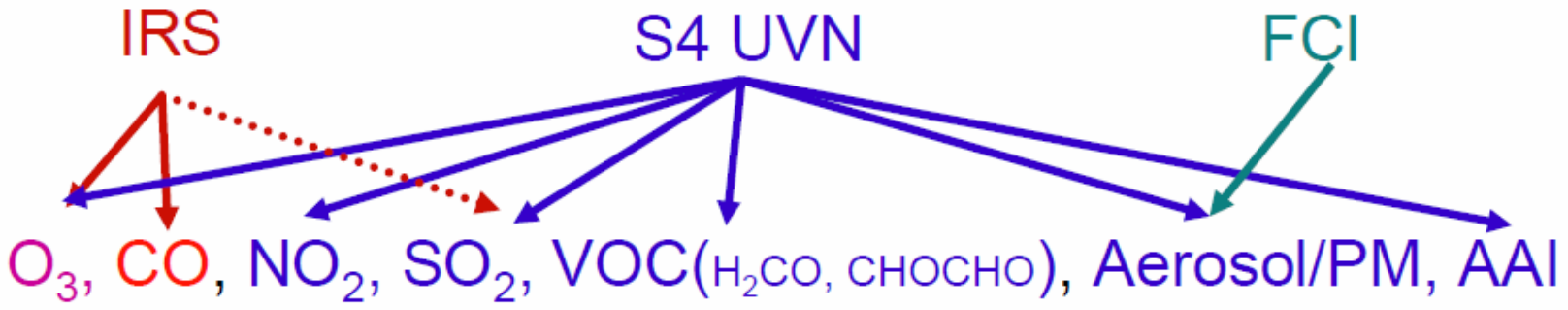
-Éghajlati megfigyelés támogatása

-Levegőkémiai numerikus modellek
-kémiai összetétel előrejelzés Európa területére

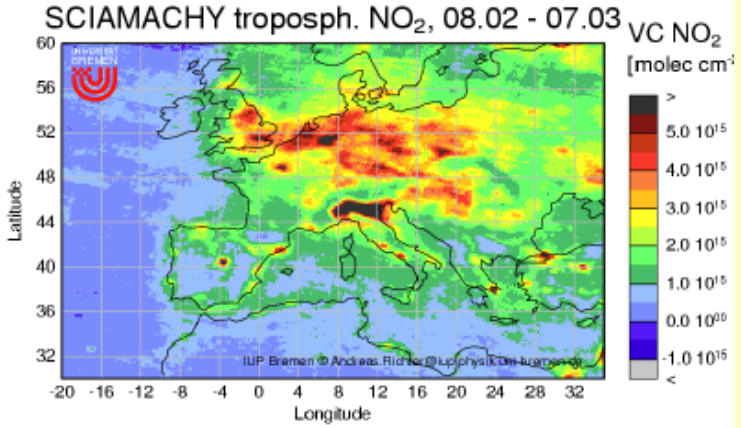


Synergy levegőkémiai célokra

Az MTG FCI, IRS, LI and UVS műszerek **együttes felhasználása** lehetővé teszi majd, a **légköri nyomgázok** napi ciklusának, területi változékonyságának megfigyelését. Továbbá az időjárási folyamatok irányította horizontális transzport és a függőleges kicserélődés megfigyelését is.



LI --- villámláskor keletkező NOx
FCI --- felhőmaszk
IRS adatok a mezoskálájú NWP modellnek



Második Generációs Poláris holdak EPS-NG

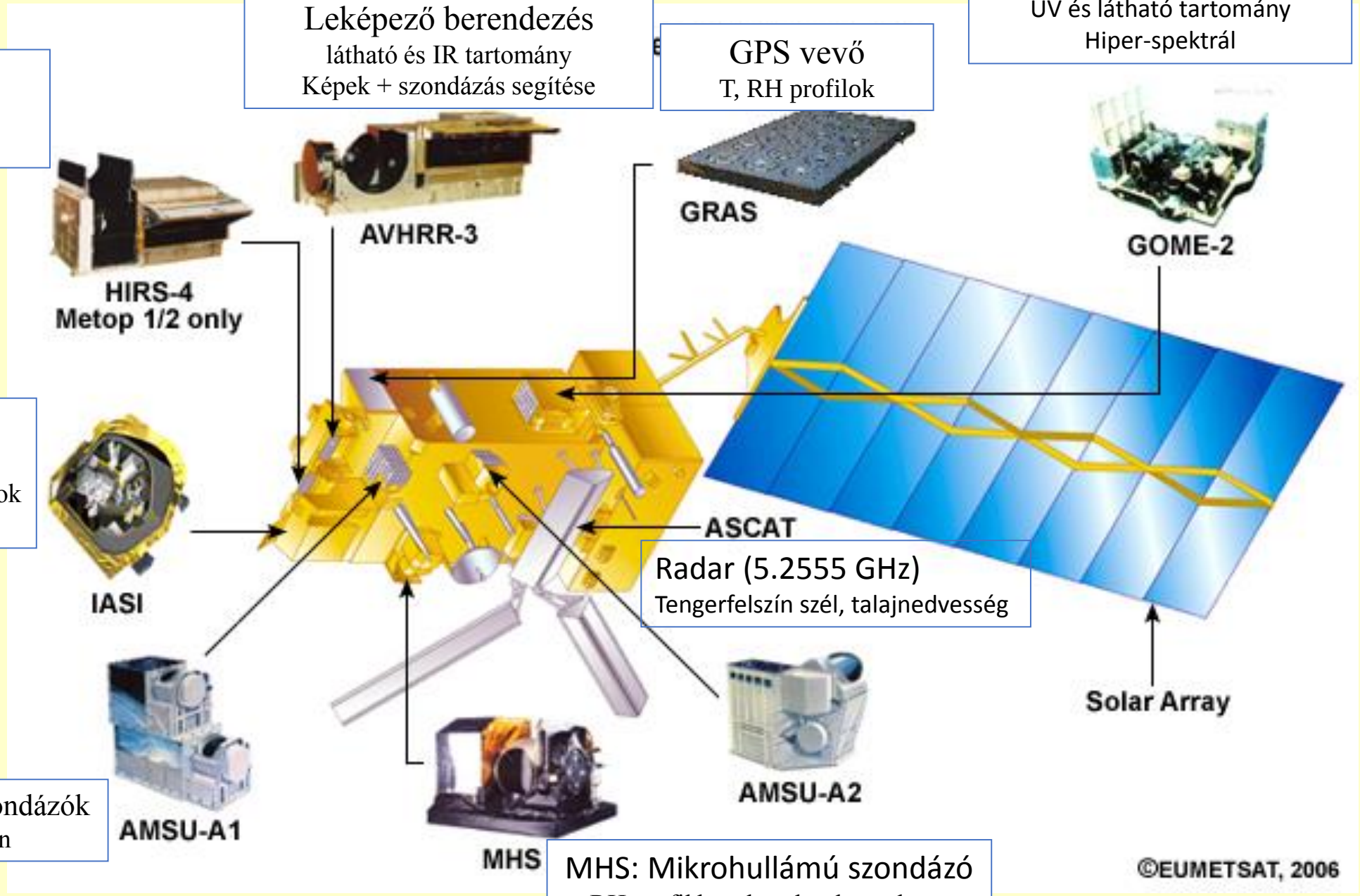
(Jelenlegi) Metop műhold műszerei

Infravörös szondázó
20 csatorna (3.8-15µm)
T, RH profil derült területen

Leképező berendezés
látható és IR tartomány
Képek + szondázás segítése

GPS vevő
T, RH profilok

Levegő kémiai szondázó
UV és látható tartomány
Hiper-spektrál



Infravörös szondázó
Hiper-spektrális (3.62-15.5 µm)
T, RH profil derült területen, nyomgázok

Radar (5.2555 GHz)
Tengerfelszín szél, talajnedvesség

AMSU-A1, A2 mikrohullámú szondázók
T profil borult + derült területen

MHS: Mikrohullámú szondázó
RH profil borult + derült területen

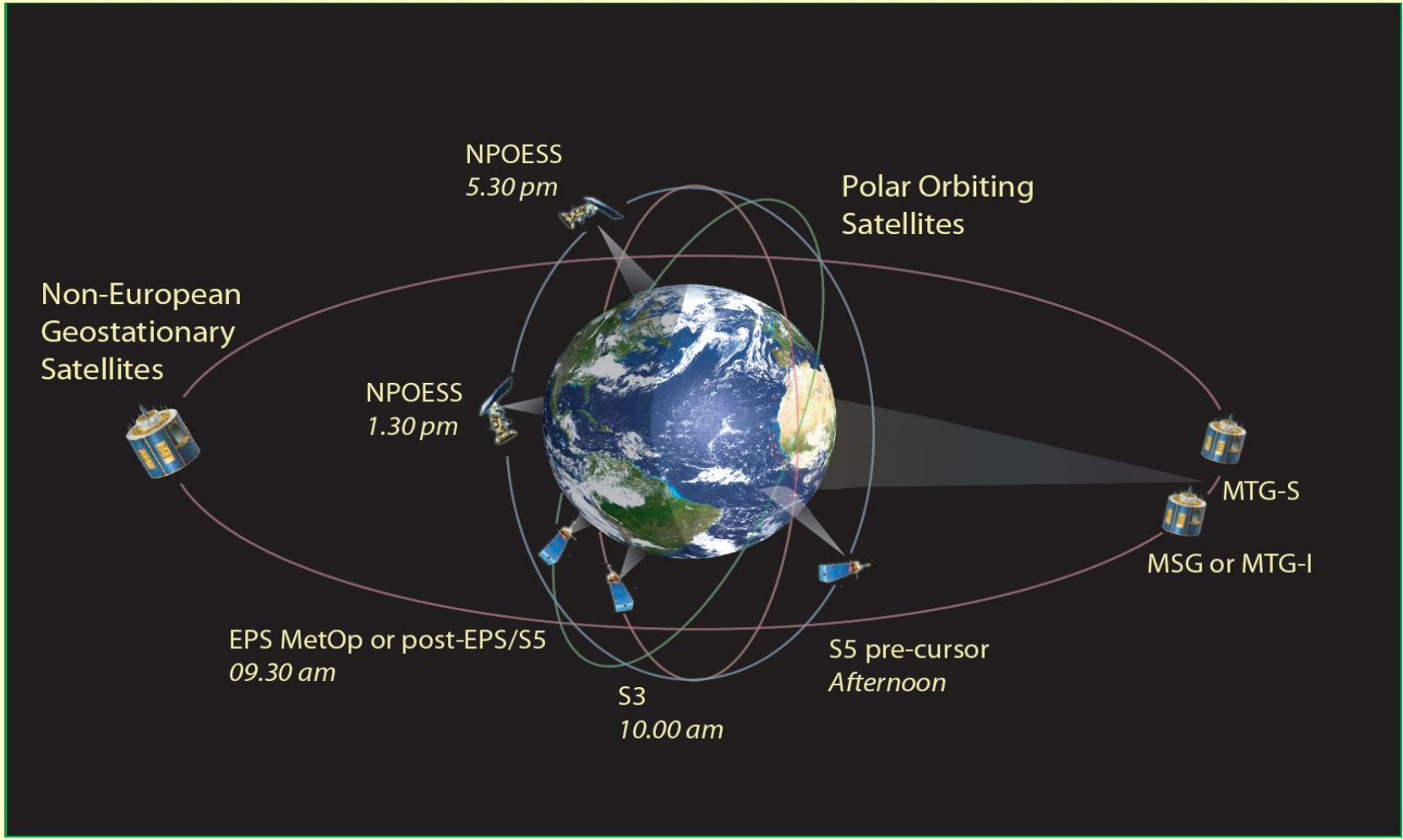
EPS-SG ~2022-2043

Joint Polar System EUMETSAT és NOAA közös rendszere

EPS-SG A EPS-SG B
2 műhold sorozat (3-3 műhold)
mid-morning orbit

9 meteorológiai műszerrel szerelik fel

Szempontok:
Felhasználási területek fontossága
Eddigi mérések folyamatossága
'Hiány' analízis
Fejlettebb mérések



Metop-SG A - légköri szondázás és leképezés
IR és MW szondázó – hőmérseklet és nedvesség profil + nyomgázok
Leképező berendezések (szondázás segítése)

Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI-NG)
Microwave Sounder (MWS)
METimage
Multi-viewing, Multi-channel, Multi-polarisation Imager (3MI)
Sentinel-5 instrument

Metop-SG B - mikrohullámú leképező berendezések
Fókuszban:

- tengerfelszín szél, talajnedvesség megfigyelése radarral
- mikrohullámban készült (all-weather) képek csapadékról es jégfelhőkről

Scatterometer (SCA)
Microwave Imager (MWI)
Ice Cloud Imager (ICI)

Mindkét műhold típuson lesz
Radio-Occultation (RO) instrument
Hőmérséklet és nedvesség profilok nagy vertikális felbontással (GPS műholdak segítségével)

Metop-SG A - légköri szondázás és leképezés

Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI-NG)	profilok derült helyen
Microwave Sounder (MWS)	profilok borult és derült helyen
METimage	szondázás segítése + …
Multi-viewing, Multi-channel, Multi-polarisation Imager (3MI)	szondázás segítése - Felhők, aeroszolok jellemzői
Sentinel-5 instrument	nyomgázok
Radio-Occultation (RO) instrument	Hőmérséklet és nedvesség profilok

passzív berendezések

IASI-NG – Infrared Atmospheric Sounding Interferometer

(Fourier transform spectrometer) Hyper-spectral Sounder

Passzív műszer. **Infravörös** tartományban működő **hiper-spektrális szondázó** berendezés. **Folytonos spektrumot** mér.
25 km-es felbontás

A Metop/IASI műszer utódja – (jobb spektrális felbontás)

Fő cél: **Derült és részben felhős** területen: **hőmérséklet és nedvesség profil**, felszín hőmérséklet, nyomgázok, aeroszolok mennyisége, felhők jellemzése.

MWS - Microwave Sounder

Passzív műszer. **Mikrohullámú szondázó** egység. A IASI-NG műszer kiegészítője, felhős területen is tud profilt mérni.
17 - 40 km-es felbontás.

Metop/NOAA műholdakon működő AMSU, MHS berendezések utódja, de több csatornán mér. 24 csatorna + **polarizációt** is mér
NPP/ATMS műszerhez hasonló

Fő cél: Derült és **borult területen - hőmérséklet és nedvesség profil**,
+ felszín hőmérséklet, felhők víztartalma, mikrofizikai információk, csapadékbecslés, cirrus felhőről információ.

METimage – Visible/Infrared Imager

Passzív műszer. **Leképező** berendezés, **látható és infravörös** spektrumtartományban mér.

Metop/AVHRR műszer utódja. A **NOAA/VIIRS**–hez hasonló. (Napsugárzási csatornák „on-board” kalibrációja)

20 csatorna 0. 44 - 13.35 µm, **500 m** felbontás.

Fő célok: A szondázás felhőszűrésének támogatása.
Felhők, aeroszolok nagyfelbontású megfigyelése, felhőtető mikrofizika.
Felszínhőmérséklet, növényzet, hó, jég, tűz megfigyelés.
A poláros területen **szélvektorok** számítása.

3MI – Multi-viewing, multi-channel, multi-polarisation Imager - Operatív műholdon új!

Passzív műszer. 12 csatorna (0.4-2.1 µm), 14 irányban mér, több féle polarizáció (−60°, 0°, +60°),
4 km-es felbontás.

Az ADEOS/**POLDER** műszer utódja. Jobb területi lefedettség, nagyobb területi felbontás, szélesebb spektrumtartományban mér, több csatornában polarizációt is mér.

Fő célok: **Aeroszolok** jellemzése: optikai vastagság, méret, típus, elnyelés. (PM2.5/PM10)
Felhők jellemzése: optikai vastagság, halmazállapot, magasság, mikrofizika
Cirrus felhők jellemzői: mennyiség, optikai vastagság, részecske méret, alak paraméter, kristály orientáció, fázis függvény
A felszín **albedójának** vizsgálata. **Óceán színe**

Sentinel-5 - Nadir-viewing UV/VIS/NIR-SWIR Spectrometer

Passzív műszer. **Rövidhullámú tartományba működő hiper-spektrális szondázó berendezés**
Az UV-től a közeli infravörös spektrumtartomány (0.27–2.4385 µm) 9 résztartományában mér **folytonos spektrumot**.
7 km-es területi felbontás (a 0.3 µm feletti csatornákban)

A **GOME-2**, a SCIAMACHY és az OMI műszerek utódja.

Fő célok: Levegő minőség megfigyelés és éghajlat megfigyelésének támogatása.
Ózon profil, aeroszolok jellemzése, vulkáni hamu
Nyomgázok mennyisége (vízgőz, SO_2, NO_2, CH_4, CO_2, CO, BrO, HCHO, OCHCHO)

RO – Radio Occultation instrument

Rádió okklúziós szondázó berendezés, ("limb szondázás")
A GPS műholdak jeleit veszi és ezek légkörbeli elhajlásának mértékéből számíthatóak egyes légköri jellemzők **jó vertikális felbontásban**.

GRAS műszer utódja.

Fő célok: **Hőmérséklet és nedvesség profil derült és borult területen** jó vertikális felbontásban,
a planetáris határréteg és a tropopauza magassága, (+ űridőjárás infók).

Metop-SG B - mikrohullámú leképező berendezések

Scatterometer (SCA)	tengerfelszín szél, talajnedvesség megfigyelése radarral
Microwave Imager (MWI)	„All-weather” képek csapadékról és jégfelhőkről
Ice Cloud Imager (ICI)	**Jégfelhők** és hó alakjában hulló csapadék megfigyelése
Radio-Occultation (RO) instrument	Hőmérséklet és nedvesség profilok

ICI - Éghajlat megfigyelés támogatása + klíma es időjárási modellekben a jégfelhők paramétereinek validálása

SCA - Scatterometer

Aktív műszer. Műholdra helyezett **radar**, **visszavert mikrohullámú sugárzást (**5.355 GHz) **mér.**
25 km-es felbontás

Az Metop/**ASCAT** műszer utódja. ASCAT-hoz képesti előnye:

- 2x területi felbontás + szélesebb mérési sávok (2x660km). → A partokhoz közelebb tud tenger felszín szelet mérni.
- Nagyobb a szélsebesség méres felső határa. → Trópusi, extra-trópusi viharok erős szeleit is fogja tudni merni.

Fő célok: **Óceán felszín szél** mérése, **Talajnedvesség,**
Hóréteg vízegyenértéke, Tengerjég típus

MWI – Microwave Imager - Operatív műholdon új

Passzív berendezés. **Mikrohullámú** leképező berendezés. 18 - 183 GHz. V,H polarizációt is mér
10-50 km területi felbontás.

Az **SSMI** műszerek utódja.

Fő célok: "all weather surface imagery"
Csapadék becslés, Kihullható vízmennyiség óceánok felett
felhők megfigyelése, felhők összvíz/jégtartalma
Tengerjég fedettség és típus, Hófedettség és víz egyenérték.

ICI – **Ice Cloud Imager -** Operatív műholdon új

Mikrohullámú passzív műszer.
11 csatorna (183 - 664 GHz), 2 csatornában polarizáció is.
16 km-es felbontás

Az Aura/MLS és az Odin/SMR műszerek utódja.

Fő célok: **Jégfelhők** és **hó** alakjában hulló csapadék megfigyelése
Jégfelhők – (főleg cirrus) –felhő jégtartalma, felhőelemek effektív mérete, felhő magasság
Higrometeorok vertikális profilja (jég felhőelemek, jégdara és hó), Vízgőz vertikális profil

Éghajlat megfigyelés támogatása + klíma és időjárási modellekben a jégfelhők paramétereinek validálása

RO – Radio Occultation instrument

Lásd fenn

Fő célok:

1. **NWP modellek adattal való ellátása**
2. Nowcasting alkalmazás főleg magas szélességeken, ahol a geo infó torz vagy nincs
3. Óceán kutatás támogatása – óceán felszín szél,SST, tenger jég fedettség, stb.
4. Levegőkémia támogatása - nagy spektrális és térbeli felbontású szondázás
5. Hidrológia, vízgazdálkodás támogatása – csapadék, talajnedvesség és hó megfigyelés
6. Felszín-légkör kölcsönhatás és bioszféra alkalmazások támogatása - nagy skálájú földfelszín analízis optikai leképező berendezésekkel
7. Éghajlat megfigyelés támogatása, “Climate Data Records”

Hiper-spektrális szondázás
Cirrus felhők
Levegőkémia
Csapadék monitoring

Copernicus

Copernicus - európai földmegfigyelési program - műholdas és in-situ méréseken alapszik.

A műholdas megfigyeléseket a **Copernicus Sentinel műholdak**, illetve a "közreműködő" műholdak, berendezések végzik.

Az adatok az alábbi Copernicus adatbázisokban érhetőek el:
Land, marine, atmosphere, climate change, emergency management, security

EUMETSAT együttműködő partner: adatokat, produktumokat és szolgáltatásokat ad,
főleg a "marine, atmosphere and climate" témákban.

- Saját adatait adja (Metop, Meteosat, Jason),
- működteti a **Sentinel 4** és **Sentinel 5** berendezéseket és a **Sentinel 6** műholdat.

A Sentinel-4 műszer az MTG-n, míg a **Sentinel-5** műszer az EPS-SG-n fog működni.
(nyomgázok, aeroszol mérés)

A **Jason-CS/Sentinel-6** műholdon a **radar altimeter** berendezés a tengerfelszín magasságát fogja nagy pontossággal mérni.

A Jason-CS/Sentinel-6 műhold – óceán felszíni topográfia

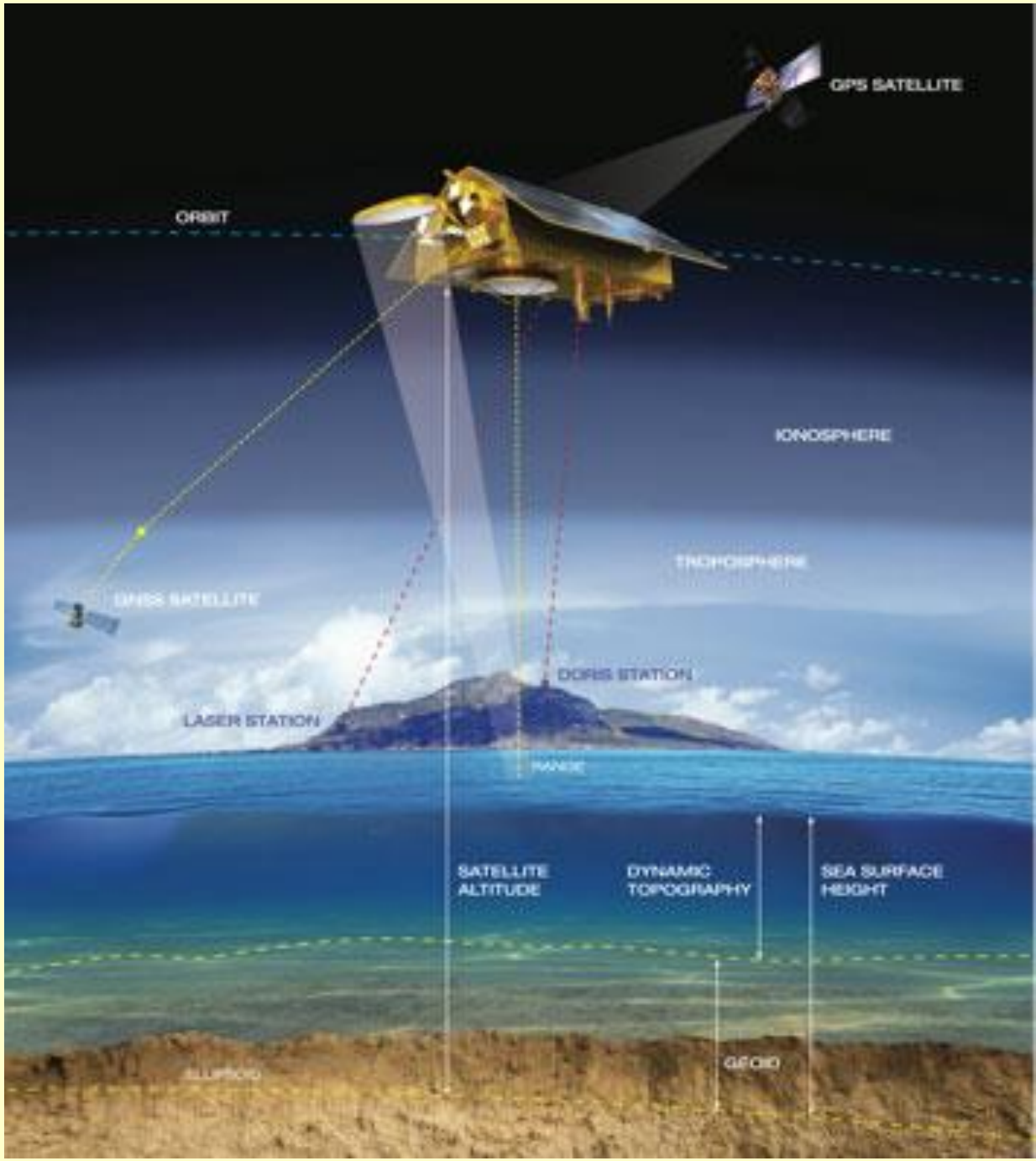
2020–2030

Altimeter - Aktív radar műszerek

- **hullámok magassága;**
- **szélsebesség;**
- **tengeráramlások helye, iránya, sebessége;**
- **tengerfelszíni anomáliák;**
- **hosszú távon a tengerszint emelkedése**

Az altimeter berendezéssel mérni lehet a tenger szintjének változását (néhány mm/év)

Az óceánoknak szerepük van az időjárás és az éghajlat alakulásában is



Aeolus

Aeolus műhold - ESA műholdja

Napszinkron pálya fellövés - 2018 augusztus

Élettartam 3 év

Első műhold globális szél profilok előállítására.

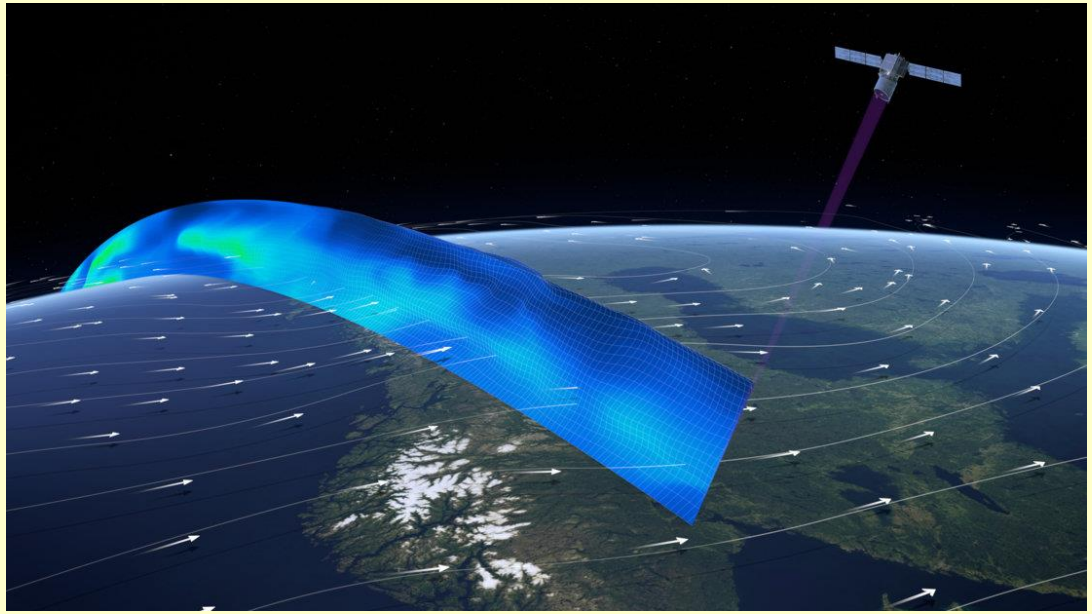
Aladin (Atmospheric Laser Doppler Instrument): Doppler szél lidar

Lézer berendezéssel méri a szél profilt

- derült területen,
- vékony felhőben,
- vastag felhők felett

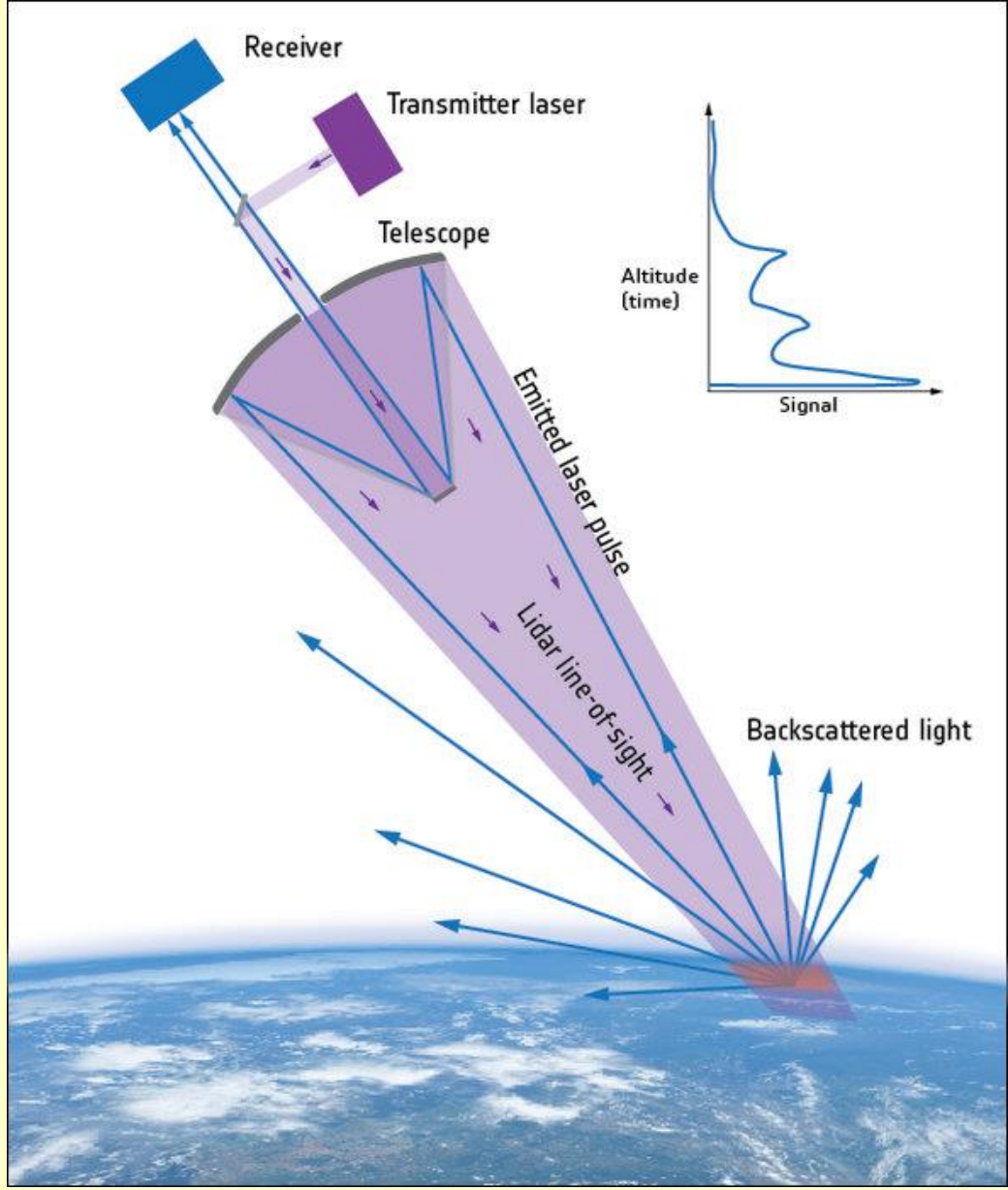
a légkör alsó 30 km vastag rétegében.

+ aeroszolok és felhők jellemzőit



https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Aeolus

- A lidar UV sugárzást (355 nm) bocsájt ki rövid, erős impulzusokban
- Összegyűjti a levegő molekulák, aeroszol részecskék, felhőelemek által visszavert sugárzást
- Elemzi a visszavert sugárzás Doppler eltolódását – ebből számítható a szél erőssége és iránya (a mérési vonal menti komponens)
- A visszatérés idejéből a magasságot származtatja

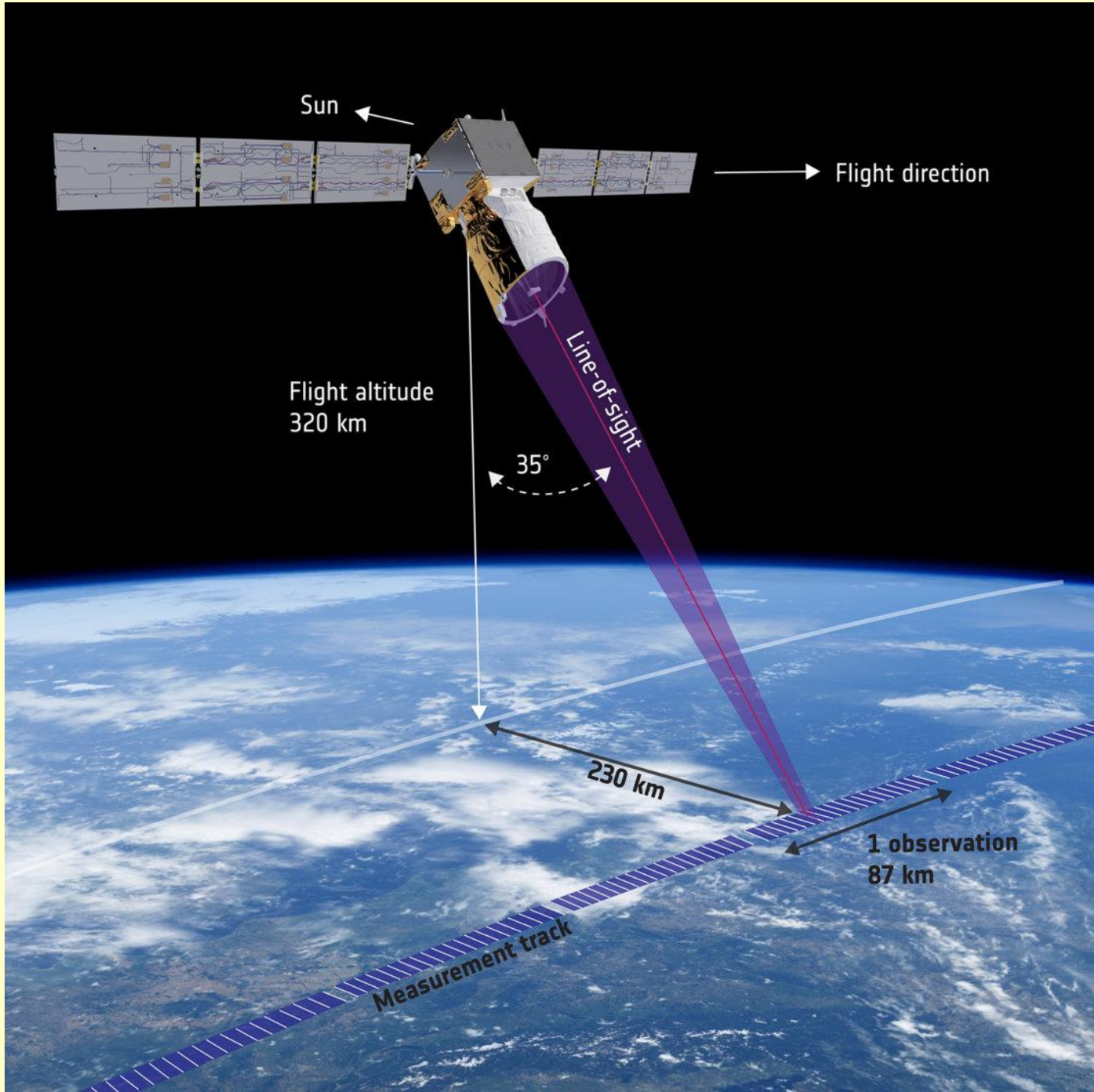


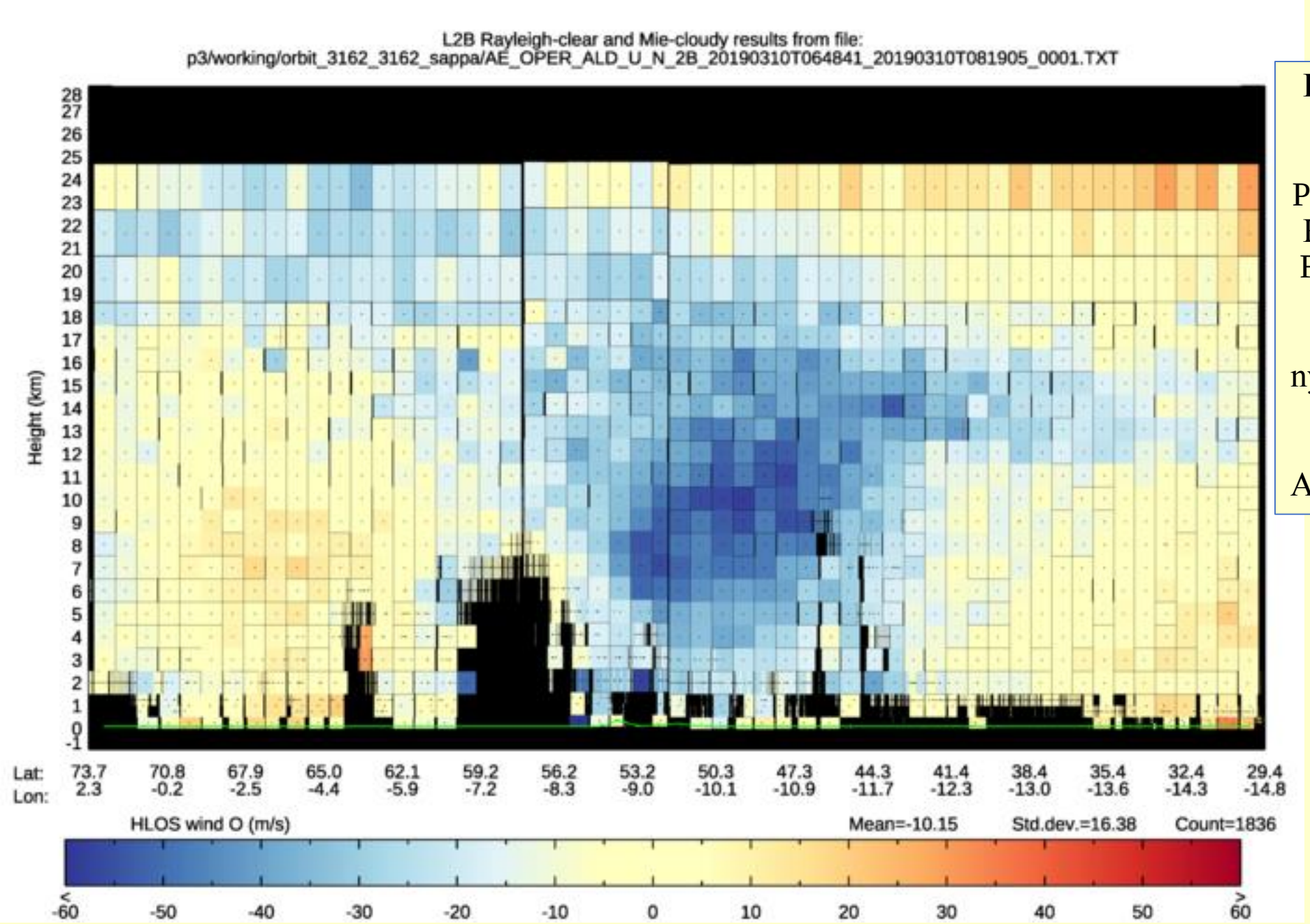
Napszinkron pálya,
„dusk/dawn” orbit
320 km magasság
7 nap alatt „fedi le” a földgömböt

- 30 km magasságig származtatja a szél profilokat (egy vonal mentén)
- 100 km szakaszonként átlagol
- Óránként 100 szél profilt mér
- A planetáris határrétegben (2 km alatt) 1 m/s pontosság
- A szabad troposzférában (16 km alatt) 2 m/s pontosság

A modelleknek nagy szüksége van globális léptékű megbízható szél profilokra

Numerikus időjárási és klíma modellek (tervezik) használni
+ segít megérteni a
- trópusi területek dinamikáját.
- Energia, víz, aeroszolok, nyomgázok transzportját, ciklusát





Erős szél Nyugat-Európa felett
2019. március 10.

Piros – keletről nyugatra fújó szél,
Kék – nyugatról keletre fújó szél
Fekete – adathiány (vastag felhő)

10 km magasságban látszik a nyugatias futóáramlás (jet stream). Itt a szélsebesség meghaladja a 200 km/h értéket.
A felszínen is igen erős volt a szél.

A Doppler lidar a szél kelet nyugat irányú horizontális komponensét méri.

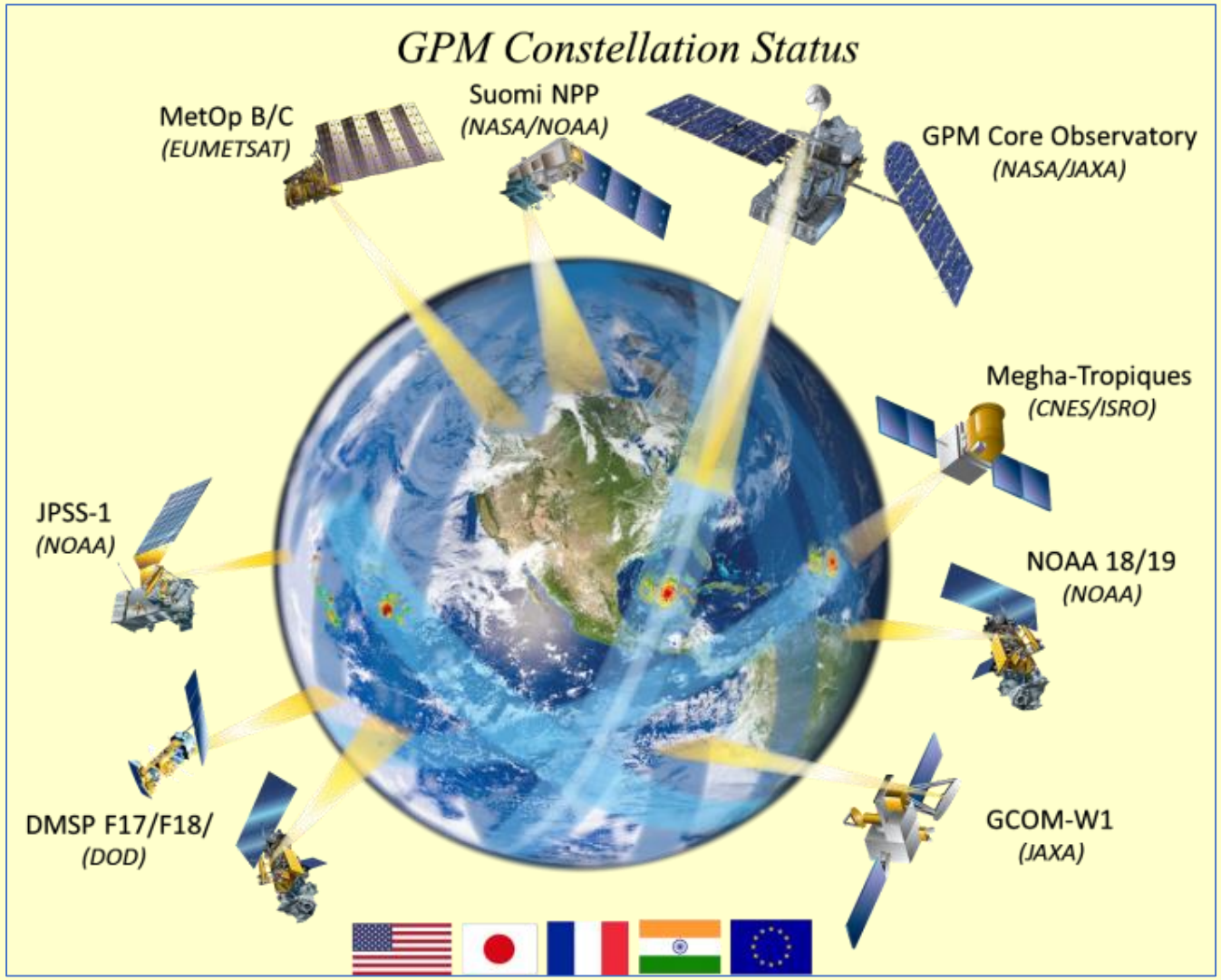
Global Precipitation Measurement GPM

Igény van megbízható, globális csapadék információra jó időbeli felbontással.
Jó időbeli felbontást a geoszinkron műholdak szolgáltatnak, de a geoszinkron műholdak nem mérnek mikrohullámú sugárzást, így csapadék becslésük nem elég pontos.
Mikrohullámú mérés jobb csapadékbecslést ad.
Sok poláris műholdon van valamilyen mikrohullámú mérés és csapadékbecslés is, de megbízhatóságuk, felbontásuk nagyon különböző (inhomogén infók)
A poláris műholdak együtt aránylag jó időbeli lefedettséget adnak.
→ össze kell hangolni, kalibrálni a poláris műholdak csapadék becsléseit

Global Precipitation Measurement (GPM) – nemzetközi program - NASA, JAXA + partner Űrügynökségek
Feladat: globális, gyakori (2-3 óránkénti) csapadék monitoring

Cél:

- Pontos, összehangolt, időben gyakori csapadékbecslés
- A Föld víz és energia ciklusának jobb megértése
- Extrém időjárási helyzetek megbízhatóbb előrejelzése
- Az éghajlati modellek, reanalízisek támogatása
- Hidrológiai modellek és előrejelzések támogatás



Partnerek: United States, Japan, France, India and Europe.

https://pmm.nasa.gov/GPM/constellation-partners

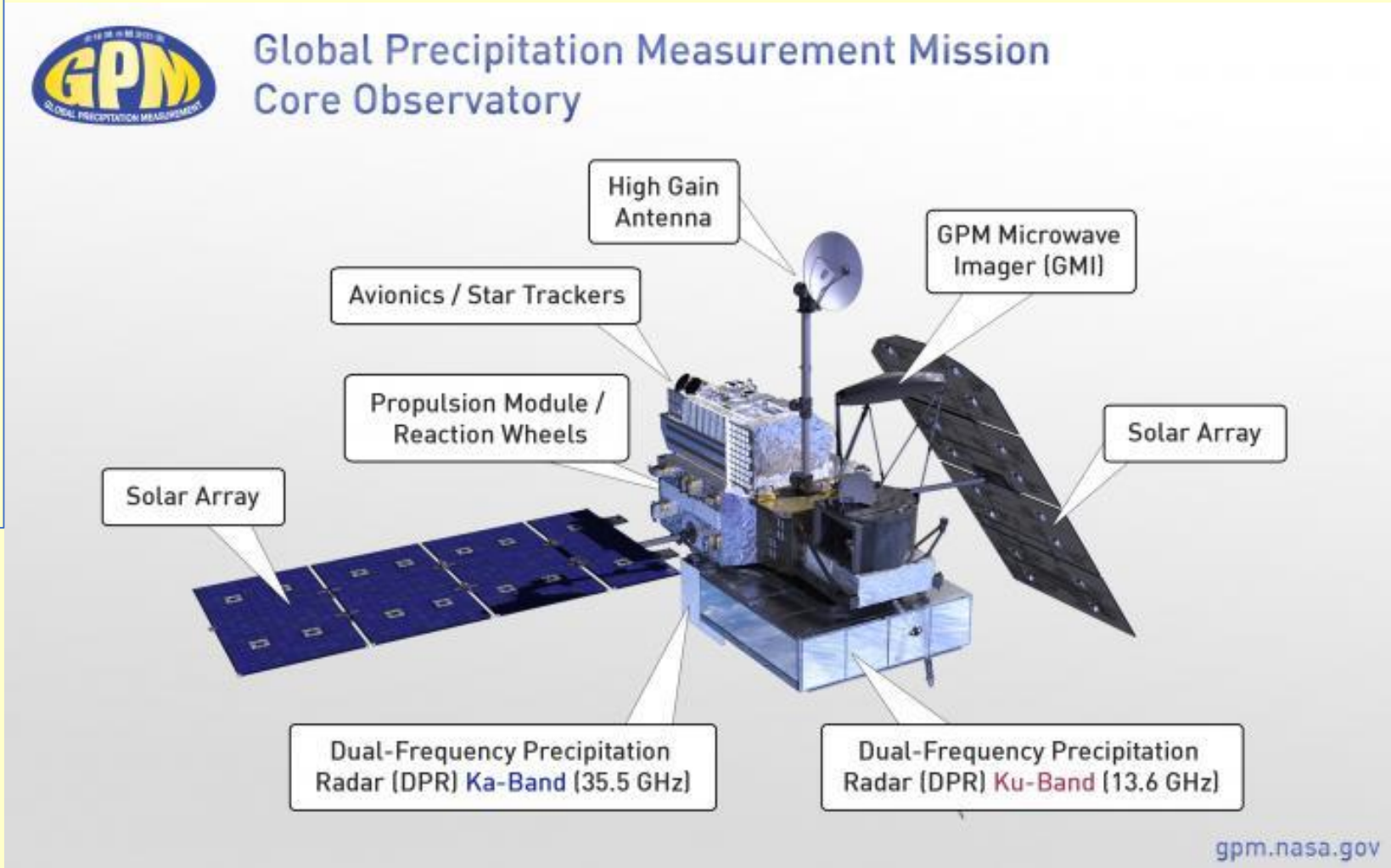
„Core Observatory satellite” - NASA and JAXA (fellövés 2014)
Nem napszinkron pálya (407 km magasban), 65°S to 65°N tartományt fedi le

„Sztenderd referencia” – ez alapján hangolják össze a GPM partnerek műholdjai által származtatott csapadék becsléseket.
→ 2-3 óránként - összehangolt csapadék becslések

A „Core” műhold két műszerrel méri a csapadékot:

- GPM Microwave Imager (GMI) - csapadék intenzitásának területi eloszlása,
- Dual-frequency Precipitation Radar (DPR) – 3 dimenziós kép

A többi műhold méréseiből származtatott csapadékbecslést ehhez kalibráljak és közös adatbázist hoznak létre.

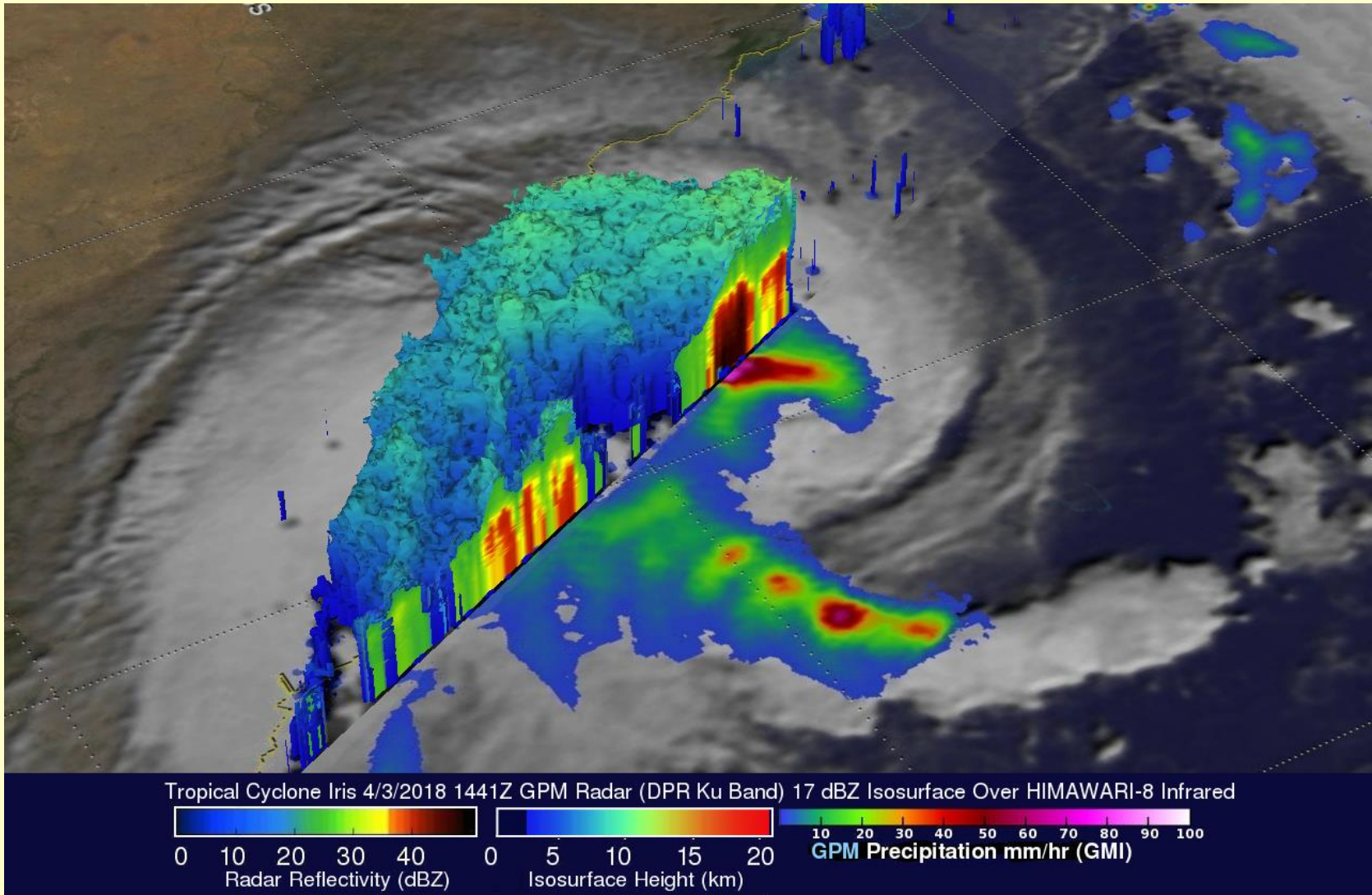


GPM Microwave Imager (GMI)
Mikrohullámú leképező berendezés. Passzív műszer. 13 csatornában mér (intenzitást és polarizációt). 885 km széles sávban mér. Csapadék intenzitást lehet származtatni (eső és hó)

Dual-Frequency Precipitation Radar (DPR)
A felhők struktúrájáról 3D-s képet ad.

2 frekvencián dolgozik
- Csapadékelemek mérete becsülhető (Ka-band, 120 km széles sáv)
- csapadék intenzitás származtatható (Ku-band, 245 km széles sáv)

https://pmm.nasa.gov/extreme-weather/gpm-satellite-probes-tropical-cyclone-iris-near-australian-coast



Összefoglaló

Fő irányvonalak, műszer típusok

- ‚Hagyományos' típusú mérések
  - Területi és időbeli felbontás növelése
  - Több spektrális sávban
  - Kisebb mérési hiba
  - Keskenyebb sávokban
- Új típusú mérések –
  - Szondázás multi-spektrális → hiper-spektrális szondázó
  - több aktív műszer

Származtatás

- Jobb származtatási módszerek
- Még több és megbízhatóbb produktum

Nagy lépés, amikor a technikai fejlődés lehetővé teszi, hogy egy jó időbeli felbontást igénylő mérés átkerülhessen poláris műholdról geoszinkron műholdra

- Profilok, csapadék, levegőkémia – jó időbeli felbontással (NWP asszimilálás, NWC, kémiai modellek)
- Szondázás (IASI) – MTG IRS - most már tudnak geoszinkron pálya távolságából is mérni keskeny IR sávokban – hőmérséklet nedvesség profilok nyomgázok mennyisége
- Terv – Mikrohullámú mérés geoszinkron pályáról – direkt csapadék monitoring ….

MTG FCI összefoglalás

Segíteni fog a következő jelenségek biztosabb észlelésében, a fizikai jellemzők pontosabb számításában, a jelenségek jobb megértésében

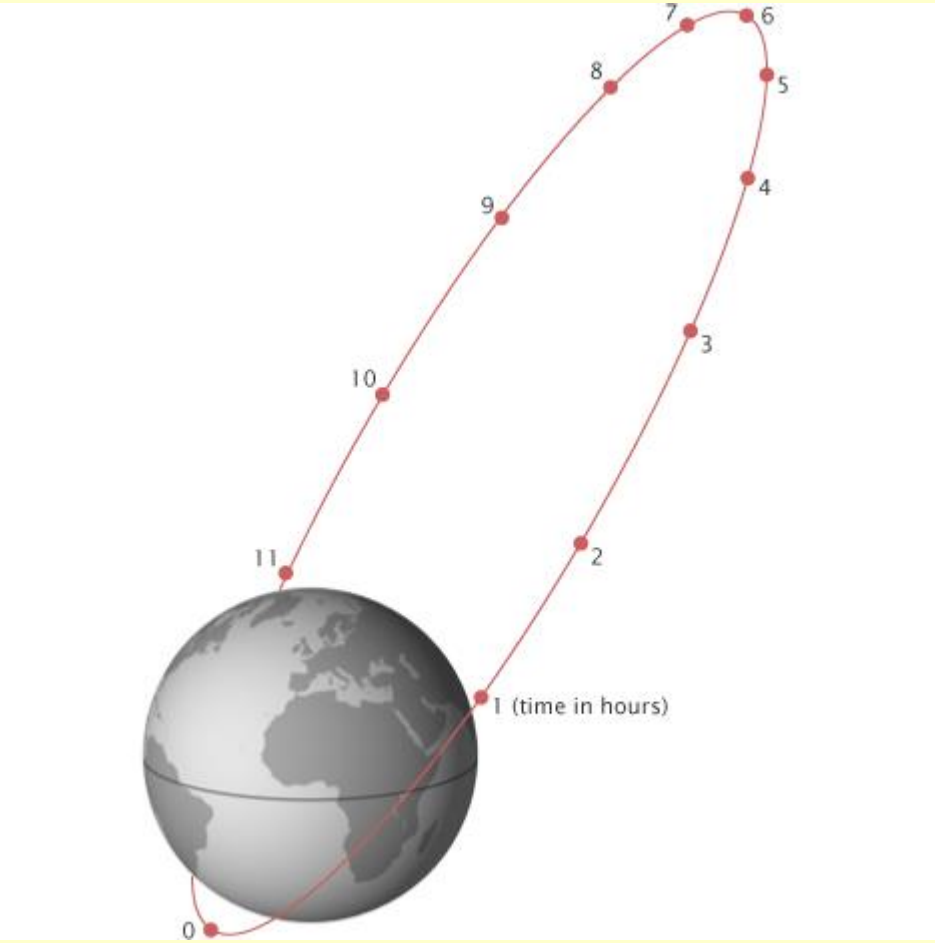
- Sokkal kisebb ‘hot spot’-ok észlelése, tűz
- Alacsony szintű **nedvesség** detektálása
- Magas szintű **nedvesség** és **vékony Cirruszok** pontosabb szétválasztása
- **Vékony cirrusz** felhők megbízhatóbb detektálása
- A **köddetektálás** javítása (éjjel és nappal, finom szerkezet)
- **Aeroszolok** típusa és mennyisége
- **Levegőszennyezés** detektálása, a **felhőkre gyakorolt hatásuk** vizsgálata (éjjel és nappal)
- Az **aeroszolok** - felhő albedón és a Föld sugárzási háztartásán keresztül érvényesülő- **éghajlatra gyakorolt hatásának** pontosabb becslése, leírása, megértése
- A **felhőelemek** halmazállapotának, méretének pontos meghatározása, **mikrofizikai jellemzők**
- Az **esőfelhők** azonosítása a felhőtető mikrofizikai jellemzői és az optikai vastagság alapján
- A zivatarok, zivatarrendszerek fejlődésének pontosabb nyomon követése, a folyamatok jobb megértése, **heves zivatarrá** való esetleges átalakulásuk detektálása, az előjelek észlelése
- A **trópusi ciklonok** dinamikai és mikrofizikai fejlődésének részletes nyomon követése

Fő felhasználási területek

- Nowcasting
- NWP-t segítése
- Környezet monitoring - légszennyezes
- Éghajlat monitoring

Kiemelt témák

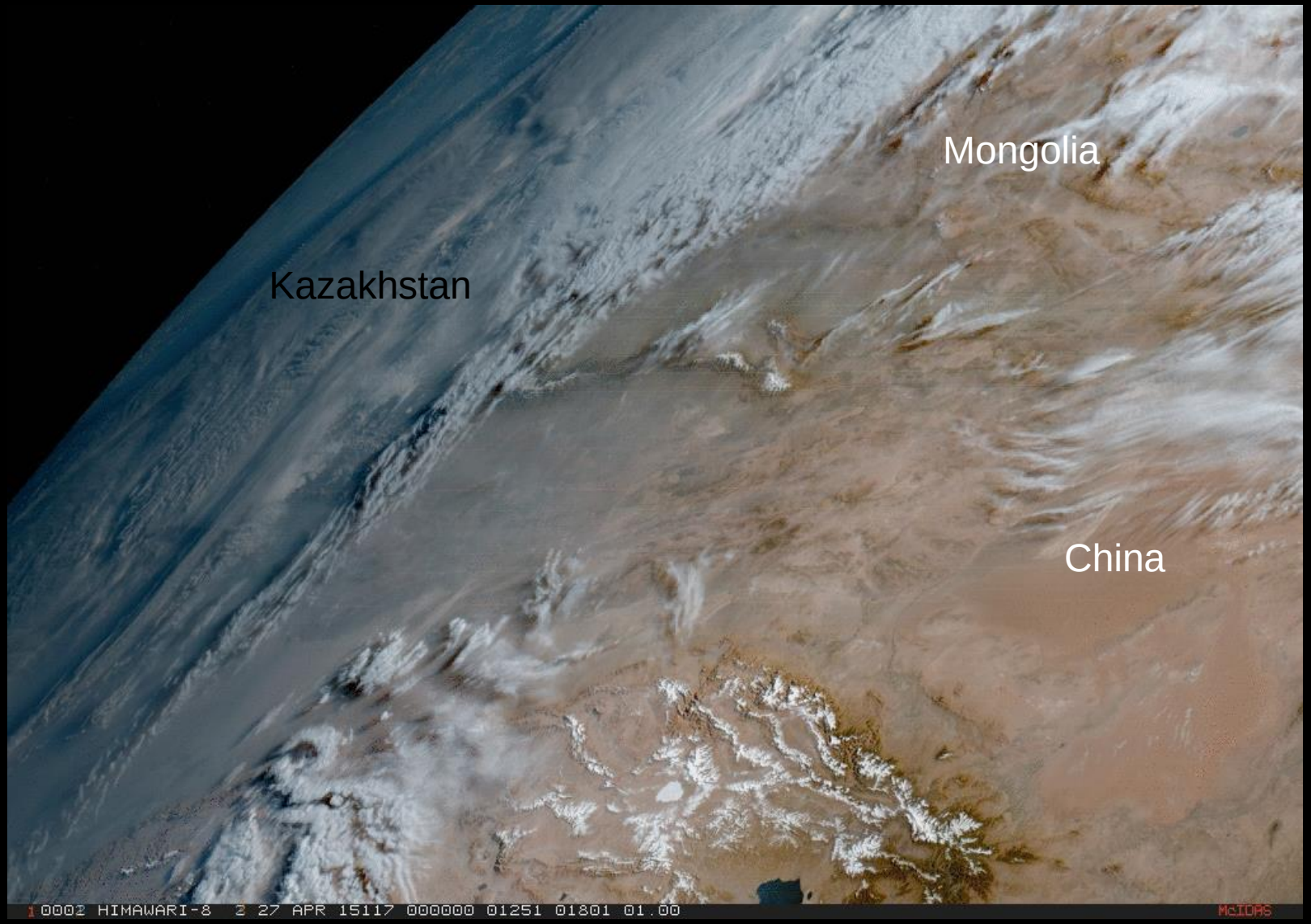
Aeroszolok
Felhők – jégfelhők
Csapadék
Levegőkémia



M4G + EPS - TG
Műhold Molnia pályán –jó időbeli lefedettség magas szélességeken
Leképező berendezés - több IR sav
Radar, Lidar
Mikrohullámú mérések geoszinkron pályáról ??

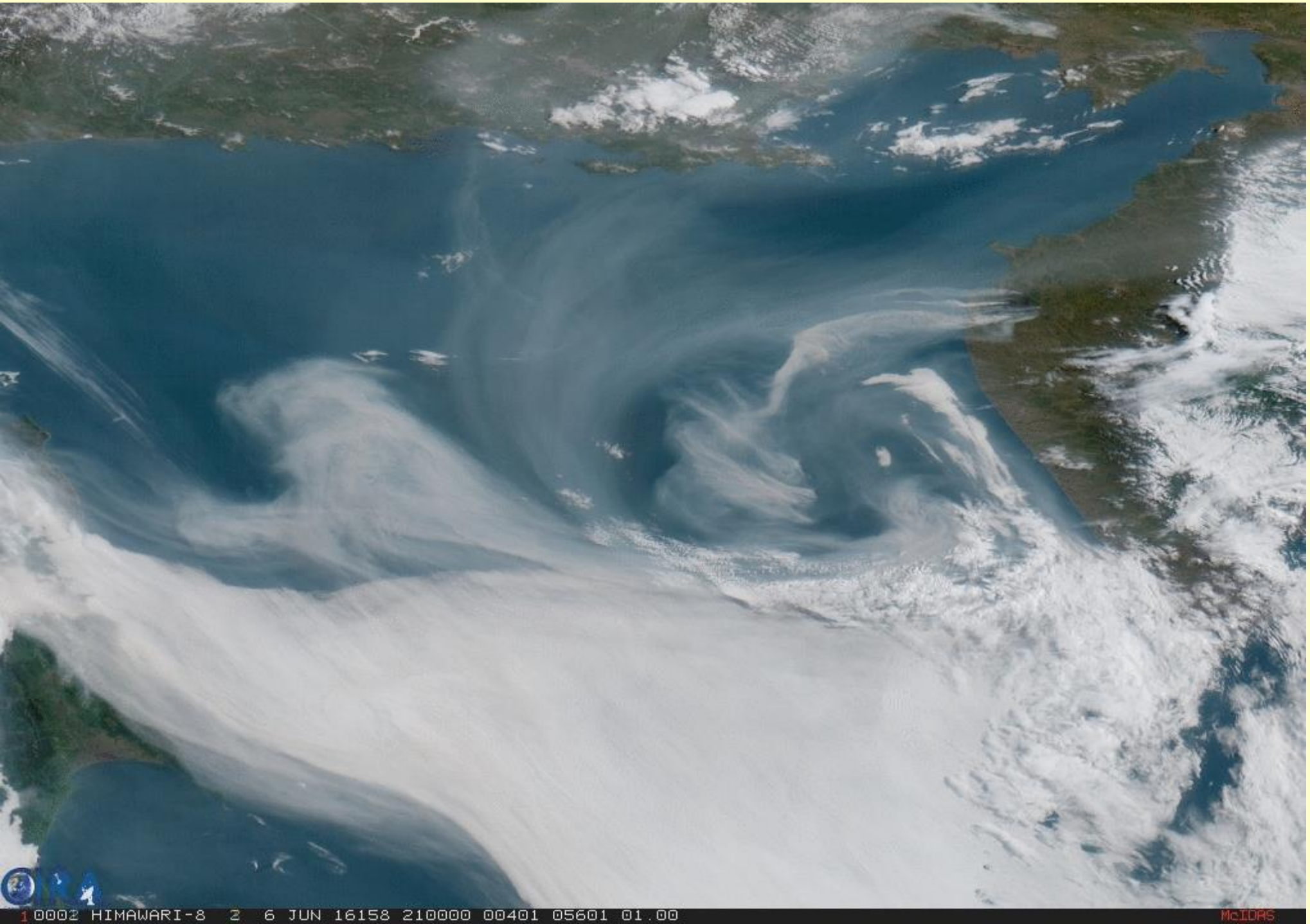
https://en.wikipedia.org/wiki/Molniya_orbit

Large Chinese Dust Storm
27 April 2015



Köszönöm a figyelmet!

True Colour RGB
Himawari-8
2015. április 27.
00-12 UTC



Köszönöm a figyelmet!

Smoke and Clouds west of Kamchatka
7 Jun. 2016

Köszönöm a figyelmet!

Tibor - műhold-meteorológia úttörője az OMSZ-on belül.